

---

This is the **published version** of the article:

Roma Solà, Gilbert; Ferrero, Ignacio; Clos, Manel. Servei de rutes basat en Open Source Routing Machine. 2014. 56 p.

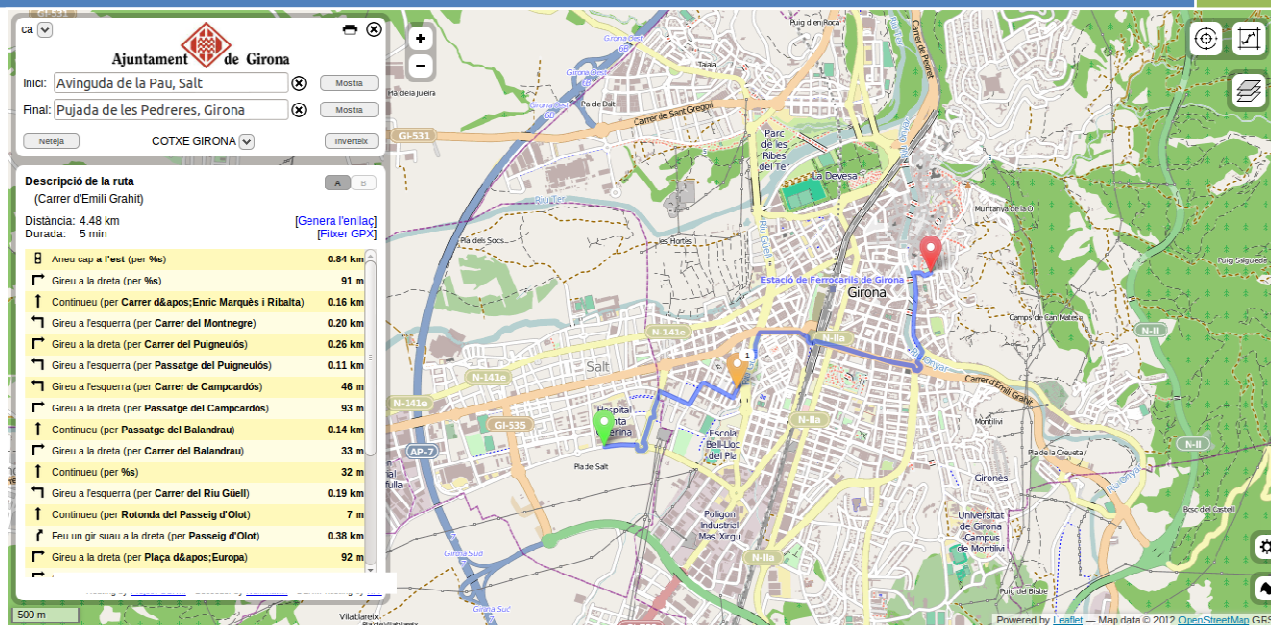
---

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/131592>

under the terms of the  license

# Memòria Projecte final

## Servei de rutes basat en Open Source Routing Machine



**Gilbert Roma**

Ajuntament de Girona (UMAT)

Màster en Tecnologies de la  
Informació Geogràfica, 15a edició

Febrer 2014



Tutors: Ignacio Ferrero (LIGIT) i Manel Clos (UMAT)

## **ABSTRACT**

This report describes the preparation, the execution and the results obtained on having implemented a calculating system of routes.

The criteria of adjustment to the free software have been implanted, over the years. In this case it was decided by the OpenStreetMap environment.

The Open Source Routing Machine project, also free, it is a calculating engine of routes of high performance that uses the information of OpenStreetMaps to calculate the most short way between two points.

In this final project is not only wanted to use the OpenStreetMap information, but it is used own information in format shapefile and it makes possible to visualize them in a Web visor.

This visor allows the user, easily, to request routes to the OSRM server created, obtaining the route wished in few milliseconds.

## **ABSTRACTO**

Esta memoria describe la preparación, la ejecución y los resultados obtenidos al implementar un sistema calculador de rutas.

Con los años, se han implantado criterios de adaptación al software libre, en este caso se ha optado por el entorno OpenStreetMap.

El proyecto Open Source Routing Machine, también libre, es un motor calculador de rutas de alto rendimiento que utiliza los datos de OpenStreetMaps para calcular el camino más corto entre dos puntos.

En este proyecto final no únicamente se quieren utilizar los datos OpenStreetMap sino que también se pretenden utilizar datos propios en formato shapefile y poder visualizarlos en un visor Web.

Este visor permite al usuario, de forma sencilla, solicitar rutas al servidor OSRM creado, obteniendo la ruta deseada en muy pocos milisegundos.

## **TAULA DE CONTINGUTS**

|          |   |               |
|----------|---|---------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUCCIÓ</b>  | <b>Pàg 5</b>  |
| <b>2</b> | <b>MARCS INSTITUCIONALS</b>                                     | <b>Pàg 6</b>  |
| 2.1      | Ajuntament de Girona  | Pàg 6         |
| 2.2      | Unitat Municipal d'Anàlisi del Territori (UMAT)                 | Pàg 7         |
| 2.3      | El Laboratori d'Informació Geogràfica i de Teledetecció (LIGIT) | Pàg 8         |
| 2.4      | OpenStreetMap   | Pàg 9         |
| 2.4.1    | Història  | Pàg 10        |
| 2.4.2    | Producció de cartografia  | Pàg 11        |
| 2.4.3    | Format de les dades   | Pàg 12        |
| 2.4.4    | Aplicacions   | Pàg 13        |
| 2.4.5    | Càlcul de rutes i navegació                                     | Pàg 13        |
| 2.4.6    | Open Source Routing Machine (OSRM)                              | Pàg 14        |
| <b>3</b> | <b>OBJECTIUS DEL PROJECTE</b>                                   | <b>Pàg 16</b> |
| 3.1      | Objectius Generals  | Pàg 16        |
| 3.2      | Objectius específics  | Pàg 17        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA DE TREBALL</b>                                   | <b>Pàg 18</b> |
| 4.1      | Requeriments materials  | Pàg 18        |
| 4.1.1    | Requeriments de maquinari                                       | Pàg 19        |
| 4.1.2    | Requeriments de programari                                      | Pàg 19        |
| 4.1.2a   | Software propietari   | Pàg 19        |
| 4.1.2b   | Programari lliure   | Pàg 19        |
| 4.2      | Instal·lació del programari específic                           | Pàg 20        |
| 4.2.1    | Instal·lar OSRM   | Pàg 21        |
| 4.2.2    | Compilar OSRM   | Pàg 22        |
| 4.3      | Recopilació i tractament de les dades                           | Pàg 23        |
| 4.3.1    | Dades inicials .SHP tractades amb ArcGis                        | Pàg 23        |
| 4.3.1a   | Fonaments de la teoria de xarxes                                | Pàg 27        |
| 4.3.1b   | Creació d'una Network Dataset                                   | Pàg 31        |
| 4.3.1c   | Network Analyst i el processador de rutes                       | Pàg 32        |
| 4.3.2    | Generació les dades en format .OSM                              | Pàg 33        |

|          |   |               |
|----------|---|---------------|
| 4.3.3    | Generació les dades en format .OSRM           | Pàg 35        |
| 4.3.3a   | Extracció de la Xarxa                         | Pàg 35        |
| 4.3.3b   | Creació de la jerarquia                       | Pàg 36        |
| 4.3.3c   | El funcionament del motor                     | Pàg 37        |
| 4.3.4    | Restriccions de les rutes obtingudes amb OSRM | Pàg 38        |
| 4.3.4a   | Restriccions                                  | Pàg 38        |
| 4.3.4b   | JOSM  | Pàg 39        |
| 4.3.4c   | Representació gràfica                         | Pàg 40        |
| 4.3.4d   | Servidor de l'API                             | Pàg 42        |
| 4.3.5    | Personalització del Web Content               | Pàg 44        |
| <b>5</b> | <b>RESULTATS</b>                              | <b>Pàg 46</b> |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSIONS</b>                            | <b>Pàg 48</b> |
| <b>7</b> | <b>ASPECTES A TENIR EN COMPTE I MILLORES</b>  | <b>Pàg 50</b> |
| <b>8</b> | <b>BIBLIOGRAFIA</b>                           | <b>Pàg 51</b> |
| <b>9</b> | <b>ANNEX</b>                                  | <b>Pàg 52</b> |
| 9.1      | Algoritme de Dijkstra                         | Pàg 51        |
| 9.2      | Jerarquies de contracció                      | Pàg 54        |

## 1 INTRODUCCIÓ

Aquesta memòria descriu la preparació, execució i els resultats de meu Projecte Final de Màster en Tecnologies de la Informació Geogràfica (MTIG), corresponent a la 15a edició.

Aquest Màster ha estat organitzat pel Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona i impartit pel Laboratori d'Informació Geogràfica i Teledetecció (LIGIT).

El Projecte final es desenvolupa com a resultat d'un conveni de col·laboració entre l'Ajuntament de Girona i la Universitat Autònoma de Barcelona. Les pràctiques es van efectuar a la UMAT (Unitat Municipal d'Anàlisi Territorial) durant tres mesos, de setembre a desembre de 2013.

L'Ajuntament de Girona disposa d'un sistema d'Informació Territorial (SIT) integrat en l'organigrama municipal i vinculat a les tasques de producció, gestió, anàlisis i difusió de la informació territorial corporativa.

El SIT disposa de diversos entorns de treball (programació) i de programaris diversos. Gradualment, amb els anys, ha anat adoptant criteris d'implantació de programari lliure en el seu desenvolupament. En aquest context es valora la proposta d'integració de serveis de routing basats en l'entorn OpenStreetMap.

Cal que reflexionem un moment i pensem perquè s'ha optat per OpenStreetMap.

*"La Fundació OpenStreetMap és una organització sense ànim de lucre dedicada a impulsar el creixement, el desenvolupament i la distribució de dades geoespacionals lliures i a proporcionar dades geoespacionals per l'ús i la compartició de tothom."*

Aquest fet ha generat un ecosistema d'aplicacions al voltant d'aquest servei que creix sense parar.

Una de les peces més interessant és **OSRM** inicials de **Open Source Routing Machine**, és lliure, de codi obert i disponible sota la molt permissiva GNU Affero General Public License.

El projecte que he realitzat està centrat en aquest motor calculador de rutes d'alt rendiment que utilitza les dades de OpenStreetMaps per calcular el camí més curt entre dos punts, amb la particularitat de generar prèviament les nostres dades amb ArcGis 10.1, emmagatzemar-les en un format shapefile, i que s'haurà de convertir a format OpenStreetMap, per tal d'incorporar-lo a Open Source Routing Machine.

## **2 MARCS INSTITUCIONALS**

### **2.1 Ajuntament de Girona**

Girona és la capital de la comarca del Gironès i de la província de Girona, situada al nord-est de Catalunya, el municipi és a 100 Km de Barcelona, a 40 Km de la Costa Brava i a 60 Km de la frontera amb França.

La ciutat de Girona està situada a la confluència dels rius Onyar, Güell, Galligants i Ter, a una altitud de 70 m, a l'anomenat pla de Girona. Girona limita al nord amb els municipis de Sant Julià de Ramis i Sarrià de Ter; a l'est, els de Celrà, Juià i Bordils; al sud-est, amb el de Quart; al sud-oest, amb els de Fornells de la Selva i Vilablareix; i a l'oest amb els de Salt i Sant Gregori.

Girona presenta les següents característiques:

Ubicada en Coordenades GPS (wgs84): 41,59° latitud nord - 2,49° longitud est

Dividida en 9 barris i 31 sectors.

Té una extensió de 38,73 km<sup>2</sup>

Altitud màxima: Puig de Roure (410m).

Altitud mínima: Llera del riu Ter al Pla de Campdorà (45m).

Altitud mitjana 70 m.

Dades demogràfiques en habitants (desembre 2012):

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| Població total                  | 97.656 |
| Població - homes (%)            | 48,04  |
| Població - dones (%)            | 51,96  |
| Població estrangera (%)         | 21,77  |
| Població estrangera - homes (%) | 48,71  |
| Població estrangera - dones (%) | 51,29  |

## **2.2 Unitat Municipal d'Anàlisi del Territori (UMAT)**

La Unitat Municipal d'Anàlisi del Territori (UMAT) ofereix tot tipus de cartografia digital de la ciutat. Aquesta cartografia es pot consultar en línia o descarregar en diversos formats.

És l'encarregada de gestionar el Sistema d'Informació Territorial de l'Ajuntament de Girona i d'elaborar estudis de població i habitatge a partir de l'anàlisi territorial de les dades.

La Unitat Municipal d'Anàlisi Territorial (UMAT) gestiona des de l'any 1995 el Sistema d'Informació Territorial de l'Ajuntament de Girona en tres àmbits:

### **Servei Municipal de Cartografia**

Geodèsia

Informació de base (topogràfic, ortofotoimatges, models 3D)

Servidor de Cartografia

### **Gestió del Sistema d'Informació Territorial**

Referència territorial

Àrees municipals

Cartografia administrativa

### **Anàlisi Territorial**

Estudis de població i habitatge



## 2.3 El Laboratori d'Informació Geogràfica i de Teledetecció (LIGIT)

Situat a la facultat de Filosofia i Lletres, el LIGIT es dedica, principalment, al tractament informàtic de la informació geogràfica (tant cartogràfica com alfanumèrica). La seva tasca consisteix en produir informació del territori i organitzar-la en sistemes d'informació geogràfica (bases de dades que contenen tant la informació temàtica com la definició geomètrica dels components) per tal de facilitar la consulta, gestió i anàlisi territorial.

Bàsicament, el LIGIT realitza tres tipus d'activitats diferents:

Dóna suport a la recerca posant a l'abast dels usuaris de recerca de la UAB (estudiants de segon i tercer cicle i professors/investigadors) diferents mitjans, com són programes informàtics especialitzats, programes professionals, serveis específics (escàners de gran format, plotters, etc.), facilitant dades i proporcionant coneixement i assessorament dins el món dels sistemes d'informació geogràfica.

Realitza projectes de desenvolupament de tecnologies de la informació geogràfica mitjançant convenis i contractes amb empreses i institucions externes, de les que la Generalitat de Catalunya o la Diputació de Barcelona en són alguns exemples.

Proporciona formació específica en el seu camp a través d'una oferta de formació continuada, realitzant cursos a mida i postgraus .

## 2.4 OpenStreetMap

També conegut com OSM, és un projecte col·laboratiu per crear mapes lliures i editables.

Els mapes es van crear utilitzant informació geogràfica capturada amb dispositius GPS mòbils, ortofotoimatges i altres fonts lliures. Aquesta cartografia, juntament amb les imatges creades i les dades vectorials emmagatzemades en les seves bases de dades, es distribueixen sota la llicència oberta d'Open Database License (ODbl).

Al gener de 2013 el projecte comptava amb 1.000.000 d'usuaris registrats. Els usuaris registrats poden pujar les seves dades per crear i corregir dades vectorials, mitjançant eines d'edició de la comunitat OpenStreetMap.

El nombre d'usuaris creixia un 10% cada més sent Alemanya i el Regne Unit els països amb majors comunitats locals.

La capacitat de la bases de dades, anomenada *Planet.osm*, en aquells moments era de 205 gigabytes (14 GB amb compressió bzip2), incrementant diàriament en 10 megabytes comprimits.

A la majoria dels països la informació geogràfica pública no és d'ús lliure. Al no estar considerada per les administracions públiques com un servei similar a una infraestructura d'ordre públic, l'usuari paga dues vegades per la mateixa informació; la primera, al generar-la, a través dels seus impostos, i la segona a l'adquirir-la pel seu ús.

A més, les llicències d'ús solen estar restringides, és a dir, que no se'n poden corregir errors, ni editar les dades o utilitzar els mapes resultants en determinades plataformes de publicació.

D'altra banda, en els últims anys, han sorgit iniciatives comercials com MapShare de TomTom o MapMaker de Google, orientades a animar als usuaris dels seus serveis a completar-los, actualitzant o corregint cartografia i agregant noves dades. En la majoria d'aquest casos, els usuaris que contribueixen a millorar no tenen drets sobre la cartografia o dades que estan editant i aquestes passen a ser propietat de les empreses (això vol dir que seguirà sent cartografia propietària i no lliure).

D'igual manera, la feina d'aquests serveis comercial està enfocada cap a les ciutats principals, fet que dificulta la incorporació de cartografia de la resta del territori.

### 2.4.1 Història

Al juliol de 2004 l'anglès Steve Coast va funda OpenStreetMap en resposta als alts preus que cobrava per la seva informació geogràfica l'*Ordnance Survey*, l'agència cartogràfica de Gran Bretanya.

L'abril de 2006 OSM va iniciar el procés per convertir-se en una fundació. El 22 d'agost del mateix any ja va ser inscrita com a tal al registre d'Anglaterra i Gales.

Al desembre de 2006 Yahoo! Va confirmar que OpenStreetMap podria utilitzar les seves fotografies aèries com a base per produir cartografia. El servei va estar actiu fins al tancament de l'API de Yahoo!Maps el 13 de setembre de 2011.

A l'abril de 2007 l'empresa holandesa Automotive Navigation Data (AND) va fer una donació de dades dels Països Baixos, juntament amb les de les principals carreteres de la Índia i la Xina. El juliol d'aquell mateix any es va celebrar la primera conferència internacional sobre OSM "*The State of the Map*" on s'anuncia que s'ha assolit la xifra de 9.000 usuaris registrats.

A l'octubre es va completar l'importació de geodades sobre vials provinents de la base de dades TIGER de l'oficina del cens d'Estats Units.

Al desembre, l'Universitat d'Oxford es convertí en la primera institució important en utilitzar dades OpenStreetMap a la seva web.

Al gener de 2008 es creà una nova funcionalitat per a la descàrrega de cartografia OSM en dispositius GPS, destinat especialment al ciclisme urbà i cicloturisme.

Al març la Fundació OSM anuncià que havia rebut 2,4 milions d'euros de CloudMade, una empresa comercial que utilitzaria les dades OpenStreetMap.

Al juliol, durant la conferència anual "*The State of the Map*", s'anuncià que la xifra d'usuaris registrats ja ascendia a 45.000.

Al novembre, la Fundació OSM i l'iniciativa pública canadenca GeoBase.ca, anunciaren la donació per part d'aquesta segona de tot el seu conjunt de geodades de Canadà, convertint-se per la seva extensió en la major donació d'aquest tipus fins al moment.

Al gener del 2009 l'agència cadastral Francesa va permetre a OSM l'ús del seu servei WMS per a la vectorialització de dades.

A l'abril de 2009, els creadors alemanys de Wikimedia anuncià a la seva reunió de desenvolupadors la financiació de 15.000 euros d'un projecte pilot de col·laboració amb OSM per interrelacionar ambdós projectes; en definitiva, poder consultar articles de Wikipedia des dels mapes OpenStreetMap i viceversa.

Avui dia els articles georeferenciats de Wikipedia ja permeten el desplegament de cartografia OSM sobre les localitzacions que es mencionen al text, així com imatges geoetiquetades de Wikimedia Commons.

Durant el terratrèmol d'Haití del 2010, voluntaris d'OpenStreetMap i Crisis Commons van utilitzar imatges aèries de satèl·lit disponibles per realitzar un mapa de carreteres, edificis i camps de refugiats de la capital, en només dos dies. El mapa resultant està considerat "el mapa digital de carreteres més complet d'Haití". La cartografia va ser

utilitzada per diferents organitzacions que prestaven auxili i assistència tals com el Banc Mundial, el Centre Comú d'Investigació de la Comunitat Europea, l'Oficina de Coordinació d'Assumptes Humans i un llarg etcètera.

Al novembre el 2010 s'anuncià que Bing permetria al projecte OSM el dret de dibuixar des de les seves imatges aèries.

Al 2012 Google va canviar la seva política d'ús sobre el producte Google Maps, passant a cobrar per la utilització de la seva API a llocs web que generessin molt tràfic. Aquest fet va fer que empreses de referència com Foursquare abandonessin Google Maps en favor de dades OpenStreetMap. Tanmateix Apple va presentar una nova versió del software *iphoto* on la geolocalització de les imatges es sustentava en mapes basats en cartografia OSM.

## 2.4.2 Producció de cartografia

Les primeres dades del mapa van ser recopilats des de zero per voluntaris mitjançant un sistemàtic treball de camp a través de dispositius GPS de mà i ordinadors portàtils o gravadores de veu, informació que posteriorment va ser incorporada a la base de dades d'OpenStreetMap. Més recentment la disponibilitat de fotografies aèries i altres fonts de dades comercials i públiques ha augmentat considerablement la velocitat d'aquest treball, permetent que l'aixecament d'informació tingui una major precisió.

Quan es disposa d'un gran conjunt de dades, un equip tècnic s'encarrega de la conversió i importació d'aquest.

L'aixecament d'informació de camp és realitzat per voluntaris, que consideren la contribució al projecte un addictiu hobby. Aprofitant els seus desplaçaments a peu, en bicicleta o en automòbil i utilitzant un dispositiu GPS, van capturant les traces i punts de control.

També acostumen a interrogar als vianants pel seu coneixement local sobre dades concretes del lloc que desconeixen (noms de carrers, sentits de circulació, etc). Posteriorment és pujada a la base de dades comú del projecte.

Alguns col·laboradors compromesos cartografien sistemàticament la localitat on resideixen durant llargs períodes fins a veure completada la seva zona.

Així mateix, s'organitzen les denominades mapping parties, on s'organitzen reunions de col·laboradors per cartografiar i completar zones determinades de les que no es té informació i s'hi comparteixen més experiències.

A part d'aquestes prospeccions d'informació organitzades, el projecte es fonamenta principalment en el gran nombre de petites edicions realitzades per la majoria dels contribuents, qui corregeixen errors o afegeixen noves dades al mapa .

L'existència o alliberament de dades públiques d'institucions governamentals amb un tipus de llicència compatible amb la d'OpenStreetMap ha permès importar aquesta informació geogràfica a la base de dades del projecte.

Així, la major part de la informació relativa als Estats Units procedeix d'aquest tipus de fonts, on les lleis obliguen que el govern federal faci públiques aquestes dades

Diverses autoritats locals han alliberat també les seves fotografies aèries posant-les a disposició pública a través de OpenAerialMap.

A Espanya el Institut Geogràfic Nacional (IGN), és l'organisme públic encarregat de la creació, el manteniment i la comercialització de la cartografia oficial. L'IGN va modificar, l'abril de 2008, la llicència d'utilització de les seves dades alliberant així part d'aquestes dades, passant a se gratuïtes per a qualsevol tipus d'us.

De la mateixa manera, aquella cartografia en paper o digital (aquesta última en menor mesura), els drets d'autor de la qual han caducat, és susceptible de ser utilitzada en el projecte OpenStreetMap.

### 2.4.3 Format de les dades

OpenStreetMap utilitza una estructura de dades topològica. Les dades s'emmagatzemen en el datum WGS84 lat / lon (EPSG: 4326) de projecció de Mercator. Els elements bàsics de la cartografia OSM són:

- Els nodes (nodes). Són punts que recullen una posició geogràfica donada.
- Les vies (ways). Són una llista ordenada de nodes que representa una polilínia o un polígon (quan una polilínia comença i finalitza en el mateix punt).
- Les relacions (relations). Són grups de nodes, vies i altres relacions a les quals es poden assignar determinades propietats comunes. Per exemple, totes aquelles vies que formen part del Camí de Santiago.
- Les etiquetes (tags). Es poden assignar a nodes, camins o relacions i consten d'una clau (key) i d'un valor (value). Per exemple: highway = trunk

En general la cartografia d'OSM conté dades en dues dimensions, és a dir, que no acostuma a registrar la tercera dimensió, l'altura o Z.

Per ara la importació de dades d'elevacions a la base de dades d'OpenStreetMap no està programada. Tanmateix, hi ha eines per a la transformació i representació de les dades de la Missió Topogràfica Radar Shuttle (SRTM) per crear mapes topogràfics amb isolínies o ombrejats sobre la qual superposar les dades d'OSM .

## 2.4.4 Aplicacions

A partir de les dades del projecte OpenStreetMap no només es poden produir mapes de carreteres, sinó també per a la creació de mapes de senderisme, mapes de vies ciclables, mapes nàutics, mapes d'estacions d'esquí, etc.

També s'utilitzen en aplicacions per al càlcul de les rutes òptimes per a vehicles i vianants. Gràcies a la seva llicència oberta, les dades brutes són de lliure accés per al desenvolupament d'altres aplicacions.

A mesura que el projecte d'OSM ha anat madurant i la seva base de dades ha millorat en qualitat i cobertura, han anat sorgint al seu voltant tot un ecosistema d'eines informàtiques i serveis, convertint-se en una font de dades factible per a determinats projectes complexos que fan ús d'aquestes « d'una forma creativa, productiva o inesperada » .

## 2.4.5 Càlcul de rutes i navegació

El càlcul de les rutes òptimes utilitzant les dades d'OpenStreetMap no està totalment desenvolupat, però l'avenç en aquest sentit en els últims mesos ha estat molt important. En nombroses regions les dades existents fins a la data encara no són prou detallades perquè arribin a ser plenament fiables, ja que sovint manca la informació sobre noms de carrers o números de policia, per exemple.

Així mateix, pot haver-hi problemes de consistència topològica en haver errors comuns de digitalització involuntaris o d'etiquetatge, com vials no connectats, encreuaments de carrers sense node en comú, errors de flux motivats pel sentit de les vies, etc.

El projecte OpenStreetMap i diversos usuaris faciliten als col·laboradors eines per poder detectar i corregir la majoria d'aquests problemes .

Hi ha diferents llocs web que ofereixen serveis d'enrutament basats en dades OSM mitjançant coneguts algoritmes de cerca en grafs (A \* , Dijkstra , etc .).

En la majoria dels casos, aquestes implementacions no tracten necessàriament el camí més curt, sinó el de menor impedància en funció de les etiquetes OSM tingudes en compte.

Alguns membres de la comunitat també proporcionen mapes derivats de dades d'OpenStreetMap en el format .Img de Garmin.

Una gran varietat de models de GPS d'aquesta marca poden utilitzar aquesta cartografia amb capacitats per al càlcul de rutes.

Aquests mapes es poden crear amb l'ajuda del programa mkgmap, la qual cosa permet a qualsevol usuari compondre els seus propis mapes personalitzats per Garmin a partir de dades d'OSM .

Per a altres dispositius de navegació GPS no és possible, per ara, utilitzar els mapes vectorials d'OpenStreetMap, ja que en ser en la majoria dels casos formats d'arxius nadius tancats, no existeixen conversors.

## 2.4.6 Open Source Routing Machine (OSRM)

**Dennis Luxens** de l'Institut Tecnològic de Karlsruhe n'és el fundador i coordinador. Va començar a treballar en aquest assumpte durant el doctorat realitzat al institut de tecnologia de Karlsruhe, Alemanya. El 2010 va ser contactat per Frederick Ramm, gran contribuent a OpenStreetMaps, i després d'una reunió va començar el projecte, atraient a d'altres col·laboradors que treballarien en diverses àrees.

*"Un dia, vaig rebre una trucada de Frederik Ramm, un gran contribuent a OpenStreetMap, que estava buscant noves idees de fora de la comunitat. Havia estat llegint sobre la planificació de rutes i es preguntava si podia ajudar-lo, ja que jo hi havia estat investigant". (Dennis Luxens)*

Luxen va començar a pensar com passar de la seva investigació a un pla d'acció. El resultat va ser OSRM. Van col·laborar amb ell Emil Tin, Dennis Schieferdecker i Christian Vetter, qui va ajudar amb el codi d'infraestructura bàsica.

Com ell mateix digué, OSRM és increïblement ràpid, però té algunes limitacions:

*"És una qüestió de recursos, m'agradaria tenir un equip de 2.000 persones treballant, però estic segur que amb 20 persones treballant, OSRM seria molt millor. Google ha invertit tants de diners i brillants idees en l'enrutament, que no estic segur de voler competir amb ells. El que vull és un sistema d'enrutament amb OpenStreetMap que comporti una experiència similar".*

El codi obert de la màquina (OSRM) Routing és un C++, i és compatible amb la majoria de sistemes operatius (Linux, FreeBSD, Windows, Mac).

Aquesta aplicació executa un motor d'enrutament d'alt rendiment per als camins més curts a la xarxa de carreteres. Ho fa combina algoritmes d'encaminament sofisticats amb les dades de la xarxa de carreteres obertes i lliures d'OpenStreetMap (projecte OSM).

Calcula la ruta més curta en una xarxa; si la mida és continental, pot trigar diversos segons; si es fa sense una trucada d'acceleració-tècnica, OSRM és capaç de calcular i emetre la ruta més curta entre qualsevol origen i destinació dins d'uns pocs mil·lisegons.

El potencial d'OSRM com es pot veure, en la comparació feta per Pascal Neis de la pàgina següent, és inequívoca.

.



| From - To | Berlin-Postdam    | Berlin-Frankfurt am Main | Berlin-Paris      | Berlin-Madrid     | Berlin-Gibraltar  |
|-----------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Engine    | AVG of 5 Requests | AVG of 5 Requests        | AVG of 5 Requests | AVG of 5 Requests | AVG of 5 Requests |
| MapQuest  | 0,347 s           | 0,748 s                  | 1,069 s           | 1,635 s           | 1,793 s           |
| Cloudmade | 0,550 s           | 1,002 s                  | 2,591 s           | 1,691 s           | 1,799 s           |
| G**gle    | 0,131 s           | 0,205 s                  | 0,441 s           | 0,459 s           | 0,599 s           |
| OSRM      | 0,054 s           | 0,086 s                  | 0,125 s           | 0,216 s           | 0,235 s           |
| Bing      | 0,145 s           | 0,581 s                  | 0,991 s           | 1,886 s           | 1,143 s           |
| YOURLS    | 0,702 s           | 5,374 s                  | 15,734 s          | 34,778 s          | 31,994 s          |
| Routino / |                   |                          |                   |                   |                   |
| Roadeeno  | 0,652 s           | 6,858 s                  | 23,837 s*         | 38,573 s*         | 41,629 s*         |

\* No valide route response from the server

#### Result distance

|           |           |            |             |             |             |
|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| MapQuest  | 40,523 km | 545,117 km | 1055,290 km | 2335,724 km | 2972,665 km |
| Cloudmade | 40,449 km | 545,407 km | 1058,678 km | 2323,633 km | 2962,893 km |
| G**gle    | 40,368 km | 543,534 km | 1057,574 km | 2317,784 km | 3001,263 km |
| OSRM      | 35,260 km | 539,400 km | 1048,080 km | 2314,480 km | 2952,420 km |
| Bing      | 40,713 km | 545,075 km | 1059,274 km | 2308,418 km | 2973,854 km |
| YOURLS    | 39,615 km | 543,572 km | 1052,854 km | 2300,522 km | 2913,957 km |
| Routino / |           |            |             |             |             |
| Roadeeno  | 30,100 km | 537,300 km | 223,300 km* | 223,300 km* | 180,500 km* |

\* No valide route response from the server

#### Result gzip file size

|           |              |               |              |              |              |
|-----------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| MapQuest  | 5,0 kb       | 14,2 kb       | 20,9 kb      | 49,1 kb      | 60,1 kb      |
| Cloudmade | 4,4 kb       | 26,3 kb       | 44,5 kb      | 129,0 kb     | 145,7 kb     |
| G**gle    | 2,8 kb       | 9,3 kb        | 14,2 kb      | 33,3 kb      | 50,4 kb      |
| OSRM      | 2,7 kb       | 10,9 kb       | 17,8 kb      | 48,1 kb      | 57,1 kb      |
| Bing      | 4,0 kb       | 14,1 kb       | 22,5 kb      | 57,2 kb      | 82,3 kb      |
| YOURLS    | 4,7 kb       | 27,1 kb       | 44,5 kb      | 121,0 kb     | 134,9 kb     |
| Routino / |              |               |              |              |              |
| Roadeeno  | 3,8 kb (gpx) | 30,0 kb (gpx) | 0 kb (gpx)   | 0 kb (gpx)   | 0 kb (gpx)   |
|           | 1,3 kb (txt) | 1,9 kb (txt)  | 1,3 kb (txt) | 1,3 kb (txt) | 1,3 kb (txt) |

Font: Neis Uno

Els resultats són bastant impressionants. L'OSRM calcula la ruta més ràpida per cadascuna de les cinc rutes proposades, entre 4 i 7 vegades més ràpid que les rutes de MapQuest, el motor CloudMade i Google.

Un calculador d'itineraris no és quelcom màgic que troba la ruta del no res. Està basat sobre dades vials i de la qualitat d'aquestes en dependrà la qualitat del resultat (velocitat de resposta i precisió).

Com sempre en les dades espacials, la geometria i els atributs són vitals. La geometria és de fàcil comprensió donat que es pot visualitzar. És senzill d'entendre que si un carrer no està a la nostra base de dades, el nostre algoritme no podrà donar cap ruta que passi per aquest carrer.

Pel que fa als atributs, el seu rol és diferent; però la seva importància és la mateixa. Una base de dades que contingui camps sobre el tràfic, la velocitat màxima autoritzada o el nombre de carrils, oferirà molt més potencial que no pas una que tan sols contingui geometria i els noms dels carrers.



### **3 OBJECTIUS DEL PROJECTE**

L'objectiu de la present memòria final de màster és implementar a l'actual visor de l'ajuntament de Girona, el Coloma, un servei d'enrutament circumscrit a la ciutat de Girona.

Aquest servei oferirà d'una forma senzilla la possibilitat d'obtenir rutes de menor cost, per a vianants i vehicles, des d'un punt origen a un punt destí, ja sigui marcant sobre el mapa o introduint les direccions.

Més concretament, es pretén crear un visor provisional com a banc de proves que mostri el resultat de les rutes sol·licitades provinents de les dades en format shape, que prèviament hauran estat interpretades i calculades per Open Source Routing Machine d'OpenStreetMaps.

Podem considerar com a objectius parcials d'aquest projecte:

1. La instal·lació i configuració, si s'escau, del programari necessari pel funcionament del sistema.
2. Recopilació i tractament de les dades per a la seva correcta interpretació.
3. Disseny del visor per al càlcul de rutes.
4. Disseny de la interfície d'usuari.

Ja per acabar amb aquest apartat, podem considerar coma objectiu col·laterals d'aquest projecte la presa de contacte amb el programari lliure per a la creació de webs d'enrutament.

#### **3.1 Objectius Generals**

En acabar aquest treball, s'espera que es sigui capaç de manipular i analitzar explícitament la informació espacial en un entorn web, concretament amb dades pròpies o d'*OpenStreetMap* i amb un visor d'estil Openlayers, Leaflet, etc emprant les funcions de càlcul de rutes de què disposa per Open Source Routing Machine, i que assoleixi els següents objectius:

1. Comprendre els conceptes de la tecnologia SIG i la seva metodologia.
2. Conèixer l'estructura dels diferents tipus de dades amb què treballa un SIG.
3. Conèixer els sistemes d'emmagatzemament estàndards, tant d'informació *ràster* com vectorial, i ser capaç d'ubicar la informació en les coordenades que corresponguin.
4. Trobar, generar i manipular dades geogràfiques.

### 3.2 Objectius específics

El servei SIG que cal desenvolupar té els següents objectius:

1. Conèixer l'estat actual de l'ecosistema d'aplicacions lliures i, en particular, les que corresponen als servidors de mapes.
2. Treballar amb dades d'OpenStreetMap, comprendre-les i reproduir-les de forma autònoma per utilitzar OSRM al nostre visor.
3. Analitzar les diferents funcions de càlcul rutes de que Open Source Routing Machine ens ofereix. Per establir l'escenari òptim d'ús de cadascuna d'ells.
4. Implementar un visor de la ruta obtinguda.

## **4 METODOLOGIA DE TREBALL**

La metodologia seguida ha constatat d'una sèrie d'etapes que s'han seguit en un ordre bàsicament rigorós, tret del fet que el projecte ha desencadenat en una investigació i no tant en un procés.

Open Source Routing Machine està en fase de desenvolupament i la seva implementació no està gaire documentada. Aquest fet fa del projecte una oportunitat interessant, única, pionera i innovadora, que permetrà de ben segur obtenir grans resultats.

En un inici no s'entreveia aquesta incertesa i es va elaborar un full de ruta ben pautat. La realitat és que sovint s'havia de corregir en funció dels nous reptes que anaven sorgint.

Malgrat tot, sí que podem establir unes etapes que es recopilen a continuació:

1. Establiment dels requeriments materials per al desenvolupament del projecte.
2. Instal·lació del programari específicament relacionat amb el sistema de càlcul d'itineraris.
3. Recopilació i tractament de les dades per a la navegació i presentació de mapes.
4. Estudi del programari anterior.
5. Plantejament de les necessitats per al càlcul d'itineraris.

### **4.1 Requeriments materials**

Podem considerar dos tipus de requeriments materials per al desenvolupament del projecte:

- Requeriments de maquinari.
- Requeriments de programari.

#### **4.1.1 Requeriments de maquinari**

Els requeriments de maquinari han sigut diversos, doncs s'ha treballat al Ligit, a l'Ajuntament de Girona i amb un PC personal. El projecte funciona de forma autònoma al PC personal i del qual podem detallar les característiques, fet que no significa que siguin els mínims requerits:

|                      |   |
|----------------------|---|
| Tipus de computadora | ACPI x64-based PC                       |
| Tipus de CPU         | QuadCore , 3684 MHz (37 x 100)          |
| Memòria del sistema  | 8 GB                                    |
| Disc dur             | WDC WD3200AAKS ATA Device (298 GB, IDE) |
| Targeta gràfic       | NVIDIA GeForce GTX 460 SE (1024 MB)     |

|                     |  |
|---------------------|--|
| Monitor             | LG L192WS [19" LCD]                        |
| Connexió a Internet | 3 Mbps                                     |
| Disc dur extern     | WD SmartWare (1TB) per còpies de seguretat |

#### **4.2.2 Requeriments de programari**

Podem dividir el programari que s'ha fet servir en el desenvolupament del projecte, la confecció de la memòria i el disseny de la presentació virtual en dos grans blocs. Per una banda el software propietari i, per una altra, el programari lliure. A continuació es relacionen els softwares que s'ha fet servir agrupats segons la divisió anteriorment indicada.

##### **4.2.2a Software propietari**

El software propietari utilitzat ha estat el següent:

Microsoft® Windows® 7 Home Premium 64 bits. Sistema operatiu.  
Microsoft® Office Word® 2007. Redacció dels diferents documents.  
Microsoft® Office PowerPoint® 2007. Preparació de la presentació virtual.  
Microsoft® Office Excel® 2007. Càlculs i taules addicionals.  
ArcGIS Desktop comercialitzat per ESRI. Captura, edició, anàlisi, tractament, disseny, publicació i impressió d'informació geogràfica.  
VMware player per crear una màquina virtual (versió gratuïta).

##### **4.2.2b Programari lliure**

Pel que fa al programari lliure s'ha fet servir:

Sistema operatiu Ubuntu12.04.  
OSRM, Open Source Routing Machine (no compilat).  
JOSM, Java OpenStreetMap, editor de dades per a l'OpenStreetMap.  
Leaflet en la seva versió per a Windows 7.  
OpenLayers en la seva versió per a Windows 7.  
Firebug en la seva versió per a Windows 7.  
Notepad++

## 4.2 Instal·lació del programari específic

Open Source Routing Machine (OSRM) està programat majoritàriament en C++ i és compatible amb la majoria de sistemes operatius (Linux, FreeBSD, Windows, Mac).

Fer funcionar l'OSRM sobre Windows és molt complicat, s'ha intentat però els procediments eren molt discutibles. Al no tractar-se d'una premissa inamovible, s'opta per fer-ho sobre una màquina virtual i així, s'aprofita un sistema operatiu lliure.

Per a la instal·lació d' **Open Source Routing Machine** s'ha fet servir una instal·lació nova d'*Ubuntu 12.04* sobre una màquina virtual generada per VMware player. Aquest sistema operatiu ha estat configurat amb totes les actualitzacions disponibles al moment de realitzar aquest treball.

El **VMware** és un sistema de virtualització per programar, és un programa que simula un sistema físic (un ordinador) amb unes característiques i un maquinari determinat. Quan s'executa el programa (simulador), aquest proporciona un *ambient d'execució* similar a tots els efectes d'un ordinador físic (excepte en el *pur accés físic* al maquinari simulat), amb CPU (pot ser més d'una), BIOS, targeta gràfica, memòria RAM, targeta de xarxa, sistema de so, connexió USB, disc dur (poden ser més d'un), etc.

Un virtualitzador per programari permet executar (simular) diversos ordinadors (sistemes operatius) dins d'un mateix maquinari de manera simultània, permetent així el major aprofitament de recursos. No obstant això, i en ser una capa intermèdia entre el sistema físic i el sistema operatiu que funciona al maquinari emulat, la velocitat d'execució d'aquest últim és menor, però en la majoria dels casos suficient per utilitzar-se en entorns de producció, ja que la major part de les instruccions en VMware s'executen directament sobre el maquinari físic.

VMware ha establert una comunitat al voltant dels seus productes gratuïts, des de la qual es proporciona accés a una creixent llista de màquines virtuals gratuïtes i de lliure disposició, amb multitud de sistemes operatius i aplicacions específiques preconfigurades i llestes, fins i tot, per a ús comercial.

## 4.2.2 Instal·lar OSRM

El primer pas és descarregar les fonts del projecte. Per això, un simple clon de git és suficient; de fet, OSRM es basa en un nombre de biblioteques. Durant la nostra primera instal·lació s'han compilat les biblioteques i s'ha fet un *apt-get install* especificant les següents biblioteques :

```
user@ubuntu:~/OSRM$ sudo apt-get install build-essential git cmake pkg-config libprotobuf-dev libprotobuf7\protobuf-compiler libprotobuf-dev libosmpbf-dev libpng12-dev libbz2-dev libstxxl-dev libstxxl-doc libstxxl libxml2-dev libzip-dev libboost-thread-dev libboost-system-dev libboost-regex-dev libboost-file-system-dev lua5.1 liblua5.1-0-dev libluabind-dev liblua5.1-dev libboost-program-options-dev
```

Per veure-ho més detalladament es pot crear un carpeta OSRM i descarregar-se les dues llibreries



Descomprimir les dues llibreries



Posar el contingut de les dues noves carpetes, de forma conjunta dins la carpeta OSRM. Es podem esborrar els zips i les extraccions.



Obrir un terminal per executar comandes



S'introdueix la carpeta on hi ha les llibreries a la terminal i es fa un *ls* per veure que es té tot correctament:

```
user@ubuntu:~$ cd OSRM
user@ubuntu:~/OSRM$ ls
AlgorithmsDataStructuresLibraryRoutingAlgorithms
```

|                            |                      |                           |                   |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------|
| <i>AUTHORS.md</i>          | <i>Descriptors</i>   | <i>LICENCE.TXT</i>        | <i>Server</i>     |
| <i>AUTHORS.TXT</i>         | <i>Docs</i>          | <i>Plugins</i>            | <i>server.ini</i> |
| <i>cmake</i>               | <i>Extractor</i>     | <i>profile.lua</i>        | <i>test</i>       |
| <i>CMakeLists.txt</i>      | <i>extractor.cpp</i> | <i>profiles</i>           | <i>Tools</i>      |
| <i>config</i>              | <i>extractor.ini</i> | <i>Rakefiletypedefs.h</i> |                   |
| <i>Contractor</i>          | <i>features</i>      | <i>README.md</i>          | <i>Util</i>       |
| <i>contractor.ini</i>      | <i>Gemfile</i>       | <i>README.TXT</i>         | <i>WebContent</i> |
| <i>createHierarchy.cpp</i> | <i>Gemfile.lock</i>  | <i>routed.cpp</i>         | <i>win</i>        |

## 4.2.2 Compilar OSRM

Cal recuperar la font del repositori GitHub

```
git clone https://github.com/DennisOSRM/Project-OSRM.git
```

La recopilació de la font principal es realitza a través d'un *cmake*. Aquesta comanda crearà OSRM :

```
mkdir -p build; cd build; cmake ../make
```

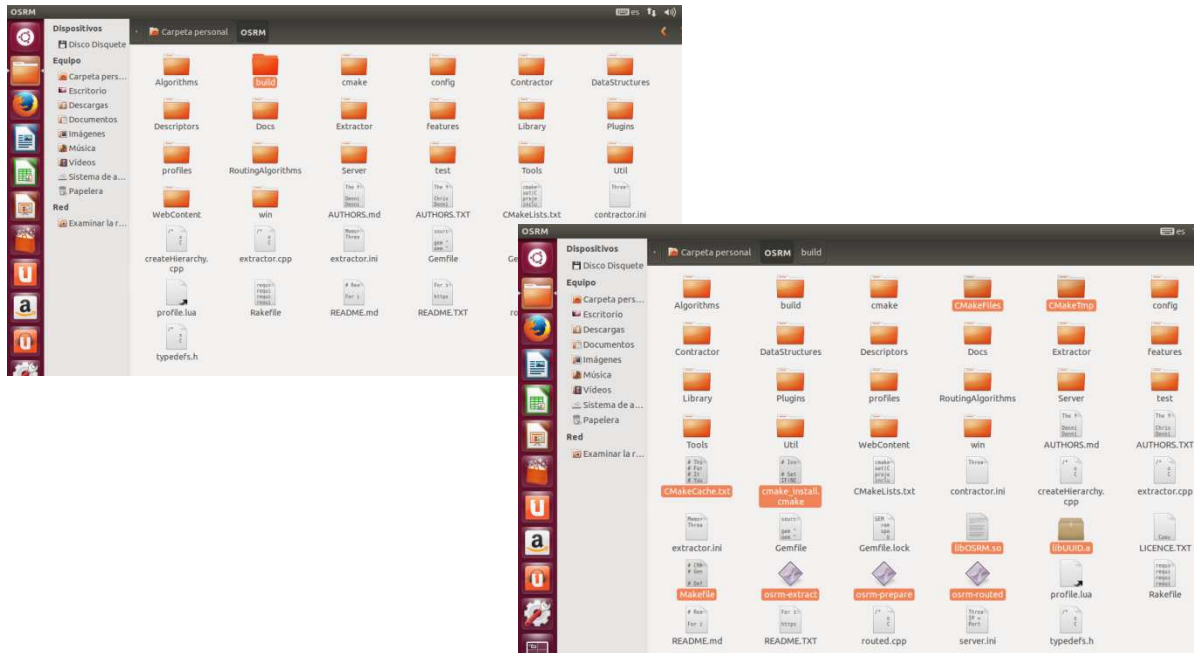
Això configurarà *cmake*, i executarà la compilació real. Si més endavant desitgem tornar a compilar, només cal tenir en compte que es pot executar un *make* de la carpeta *build*.

S'obté aquest resultat al terminal:

```
...Linking CXX executable osrm-extract
[ 78%] Built target osrm-extract
Scanning dependencies of target osrm-prepare
[ 84%] Building CXX object CMakeFiles/osrm-prepare.dir/createHierarchy.cpp.o
[ 89%] Building CXX object CMakeFiles/osrm-prepare.dir/Contractor/EdgeBasedGraphFactory.cpp.o
[ 94%] Building CXX object CMakeFiles/osrm-prepare.dir/Contractor/TemporaryStorage.cpp.o
```

```
Linking CXX executable osrm-prepare
[ 94%] Built target osrm-prepare
Scanning dependencies of target osrm-routed
[100%] Building CXX object CMakeFiles/osrm-routed.dir/routed.cpp.o
Linking CXX executable osrm-routed
[100%] Built target osrm-routed
user@ubuntu:~/OSRM/build$
```

Això crea una nova carpeta dintre la carpeta OSRM, la build.  
El contingut de la nova carpeta cal copiar-lo a la carpeta arrel, dins la OSRM.





## 4.3 Recopilació i tractament de les dades

En aquest apartat es parteix de les dades inicials per tal d'obtenir el resultat final desitjat. Cal tenir en compte que les dades, sovint, no estan generades de la forma més idònia per a determinats propòsits. Així doncs, caldrà una estructuració de tal forma que puguin ser utilitzades de la forma el més eficient possible.

### 4.3.1 Dades inicials .SHP tractades amb ArcGis

L'ajuntament de Girona fa molts anys que elabora i manté actualitzades un seguit de dades en format .shp.

El format ESRI Shapefile ( SHP ) és un format d'arxiu informàtic propietari de dades espacials desenvolupat per la companyia ESRI , que crea i comercialitza programari per a Sistemes d'Informació Geogràfica com Arc / Info o ArcGIS. Originalment, es va crear per a la utilització amb el seu producte ArcView GIS, però actualment s'ha convertit en format estàndard de "*facto*" per a l'intercanvi d'informació geogràfica entre Sistemes d'Informació Geogràfica per la importància que els productes ESRI tenen al mercat SIG i per estar molt ben documentats.

Un shapefile és un format vectorial d'emmagatzematge digital on es guarda la localització dels elements geogràfics i els atributs associats a ells. No obstant això, no té capacitat per emmagatzemar informació topològica. És un format multiarxiu, és a dir, està generat per diversos fitxers informàtics. El nombre mínim requerit és de tres i tenen les extensions següents:

- . Shp - és l'arxiu que emmagatzema les entitats geomètriques dels objectes.
- . Shx - és l'arxiu que emmagatzema l'índex de les entitats geomètriques.
- . Dbf - és la base de dades, en format de BASE, on s'emmagatzema la informació dels atributs dels objectes.

A més d'aquests tres arxius requerits, opcionalment, se'n poden utilitzar d'altres per tal de millorar el funcionament en les operacions de consulta a la base de dades, d'informació sobre la projecció cartogràfica o d'emmagatzematge de metadades.

Aquests arxius són :

- Prj -L'arxiu que guarda la informació referida al sistema de coordenades.
- .SBN i .SBX - Emmagatzemen l'índex espacial de les entitats.
- .FBN i .FBX - Emmagatzemen l'índex espacial de les entitats per als shapefiles que són inalterables (només lectura).
- .Ain i .AIH - Emmagatzema l'índex d'atribut dels camps actius en una taula o el tema de la taula d'atributs.

- . Shp.xml - Emmagatzema les metadades del shapefile .

Obrim el .shp amb ArcMap per exemple, i observem les dades de les que disposem:



| NOM POSTAL                | NOM CURT                  | CODI TIPUS | CRUILLA | NOM CARTO        | PRIORITATS      | ZONA30 | TIPUS | CR CRUILLA | TIPUSVIA | CODIVIA | JERARQUIA | METRES    | VELOC PEU |
|---------------------------|---------------------------|------------|---------|------------------|-----------------|--------|-------|------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| SANT GRAU                 | SANT GRAU                 | CR         |         | ST.GRAU          | NO              | NO     | C     | 0570       | CARRER   | 05      | 4         | 33,053675 | 75        |
| TOMÁS BARAUT              | TOMÁS BARAUT              | PL         | 1282    | T.BARAUT         | NO              | NO     | PL    | 06361282   | CARRER   | 05      | 4         | 10,299738 | 75        |
| SARDENYA                  | SARDENYA                  | CR         |         | SARDENYA         | NO              | NO     | C     | 0608       | CARRER   | 05      | 4         | 20,129415 | 75        |
| SARDENYA                  | SARDENYA                  | CR         |         | SARDENYA         | NO              | NO     | C     | 0608       | CARRER   | 05      | 4         | 30,652039 | 75        |
| SARDENYA                  | SARDENYA                  | CR         | 1282    | SARDENYA         | NO              | NO     | C     | 06081282   | CARRER   | 05      | 4         | 16,165426 | 75        |
| MARIA AUXILIADORA         | MARIA AUXILIADORA         | PL         | 1284    | M.AUXILIADORA    | NO              | NO     | PL    | 03571284   | CARRER   | 05      | 4         | 11,184307 | 75        |
| CORSEGA                   | CORSEGA                   | CR         |         | CORSEGA          | NO              | NO     | C     | 0160       | CARRER   | 05      | 4         | 24,521637 | 75        |
| CORSEGA                   | CORSEGA                   | CR         |         | CORSEGA          | NO              | NO     | C     | 0160       | CARRER   | 05      | 4         | 34,042135 | 75        |
| AURORA BERTRANA I SALAZAR | AURORA BERTRANA I SALAZAR | CR         | 1377    | A.BERTRANA       | NO              | NO     | C     | 07851377   | CARRER   | 05      | 4         | 6,437734  | 75        |
| TURÓ RODO                 | TURÓ RODO                 | CR         | 0276    | TURÓ RODO        | NO              | NO     | C     | 06690276   | CARRER   | 05      | 4         | 7,189961  | 75        |
| AURORA BERTRANA I SALAZAR | AURORA BERTRANA I SALAZAR | CR         | 1377    | A.BERTRANA       | NO              | NO     | C     | 07851377   | CARRER   | 05      | 4         | 6,866643  | 75        |
| CAMP DE LA PLANA          | CAMP DE LA PLANA          | CR         | 1369    | CAMP DE LA PLANA | NO              | NO     | C     | 00921369   | CARRER   | 05      | 3         | 7,657601  | 75        |
| CAMP DE LA PLANA          | CAMP DE LA PLANA          | CR         | 1369    | CAMP DE LA PLANA | NO              | NO     | C     | 00921369   | CARRER   | 05      | 3         | 15,019899 | 75        |
| TURÓ RODO                 | TURÓ RODO                 | CR         | 0279    | TURÓ RODO        | NO              | NO     | C     | 06690279   | CARRER   | 05      | 4         | 11,708423 | 75        |
| SANT GRAU                 | SANT GRAU                 | CR         | 0277    | ST.GRAU          | NO              | NO     | C     | 05700277   | CARRER   | 05      | 4         | 16,918747 | 75        |
| XAVIER CUGAT              | XAVIER CUGAT              | RB         |         | XAVIER CUGAT     | NO              | NO     | RBLA  | 0689       | CARRER   | 05      | 3         | 27,350637 | 75        |
| XAVIER CUGAT              | XAVIER CUGAT              | RB         | 1122    | XAVIER CUGAT     | NO              | NO     | RBLA  | 06891122   | CARRER   | 05      | 3         | 13,972874 | 75        |
| ROSSELLÓ                  | ROSSELLÓ                  | CR         |         | ROSSELLÓ         | RESPECTEU BICIS | SI     | C     | 0552       | CARRER   | 05      | 4         | 65,461081 | 75        |
| TOMAS CARRERAS ARTAU      | TOMAS CARRERAS ARTAU      | CR         | 0449    | TOMAS CARRERAS   | NO              | NO     | C     | 08350449   | CARRER   | 05      | 4         | 19,44425  | 75        |
| TOMAS CARRERAS ARTAU      | TOMAS CARRERAS ARTAU      | CR         |         | TOMAS CARRERAS   | NO              | NO     | C     | 0035       | CARRER   | 05      | 4         | 50,848317 | 75        |
| PUGNEULÓS                 | PUGNEULÓS                 | CR         | 0450    | PUGNEULÓS        | NO              | NO     | C     | 05030450   | CARRER   | 05      | 4         | 10,224808 | 75        |
| PUGNEULÓS                 | PUGNEULÓS                 | CR         |         | PUGNEULÓS        | NO              | NO     | C     | 0503       | CARRER   | 05      | 4         | 46,851568 | 75        |
| PUGNEULÓS                 | PUGNEULÓS                 | CR         |         | PUGNEULÓS        | NO              | NO     | C     | 0503       | CARRER   | 05      | 4         | 43,776886 | 75        |
| JOAN MARAGALL             | JOAN MARAGALL             | CR         | 0720    | J. MARAGALL      | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02960720   | CARRER   | 05      | 4         | 18,775844 | 75        |
| CERVERI                   | CERVERI                   | CR         | 0842    | CERVERI          | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 01470842   | CARRER   | 05      | 4         | 5,736961  | 75        |
| FIGUEROLA                 | FIGUEROLA                 | CR         | 0842    | FIGUEROLA        | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02120842   | CARRER   | 05      | 4         | 5,871857  | 75        |
| PAU CASALS                | PAU CASALS                | CR         | 0808    | PAU CASALS       | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 04490808   | CARRER   | 05      | 4         | 5,596948  | 75        |
| ILLA                      | ILLA                      | CR         | 0805    | ILLA             | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02780805   | CARRER   | 05      | 4         | 6,121123  | 75        |
| ILLA                      | ILLA                      | CR         | 0805    | ILLA             | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02780805   | CARRER   | 05      | 4         | 6,026492  | 75        |
| GUILLEM COLTELLER         | GUILLEM COLTELLER         | CR         | 0800    | G.COLTELLER      | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02640800   | CARRER   | 05      | 4         | 5,938063  | 75        |
| GUILLEM COLTELLER         | GUILLEM COLTELLER         | CR         | 0800    | G.COLTELLER      | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02640800   | CARRER   | 05      | 4         | 11,416236 | 75        |
| REMENCES                  | REMENCES                  | CR         | 0797    | REMENCES         | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 05200797   | CARRER   | 05      | 4         | 8,851745  | 75        |
| REMENCES                  | REMENCES                  | CR         | 0797    | REMENCES         | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 05200797   | CARRER   | 05      | 4         | 9,486294  | 75        |
| ILLA                      | ILLA                      | CR         | 0795    | ILLA             | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02780795   | CARRER   | 05      | 4         | 8,269465  | 75        |
| ILLA                      | ILLA                      | CR         | 0795    | ILLA             | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02780795   | CARRER   | 05      | 4         | 8,434917  | 75        |
| CERVERI                   | CERVERI                   | CR         | 0842    | CERVERI          | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 01470842   | CARRER   | 05      | 4         | 6,43747   | 75        |
| SANT JORDI                | SANT JORDI                | CR         | 1423    | ST.JORDI         | NO              | NO     | C     | 05771423   | CARRER   | 05      | 4         | 4,489563  | 75        |
| SANT JORDI                | SANT JORDI                | CR         | 1330    | ST.JORDI         | NO              | NO     | C     | 05771330   | CARRER   | 05      | 4         | 15,472358 | 75        |
| FIGUEROLA                 | FIGUEROLA                 | CR         | 0842    | FIGUEROLA        | RESPECTEU BICIS | NO     | C     | 02120842   | CARRER   | 05      | 4         | 7,380678  | 75        |
| COMERC                    | COMERC                    | CR         | 1424    | COMERC           | NO              | NO     | C     | 01551424   | CARRER   | 05      | 4         | 8,708257  | 75        |

Els atributs que contenen la informació i les codificacions són els següents:

- Tipus de via
- Codi de la via
- Nom de la via o carrer
- Jerarquia
  - Grup 1: Autopista, Nacional, variant i enllaços - 1
  - Grup 1: Comarcals, locals i vies bàsiques ciutat - 2
  - Grup 2: Carrers principals (xarxa local) – 3
  - Grup 2 : Carrers secundaris (xarxa veïnal) - 4
  - Grup 2: Xarxa camins (asfaltats –) 5
  - Grup 3: Xarxa camins (pistes forestals principals) – 6
  - Grup 3: Xarxa camins (camins secundaris)– 7
- Zones 30 :

- SI (si comporta Prioritat per als vianants)
  - NO
- Prioritats
- VIANANTS (en zones de velocitat 30 i zones peatonals)
  - RESPECTEU BICIS (en zones de velocitat 30 )
  - BUS + BICIS (zones tallades per obres TAV)

| VELOCITATS     | PRIORITATS      |
|----------------|-----------------|
| 20             | VIANANTS        |
| ZONA 30        | VIANANTS        |
| VELOCITAT A 30 | RESPECTEU BICIS |
| -              | BUS + BICIS     |

- Metres (càlcul)
- Velocitat a peu (en metres/minut)
- Velocitat en cotxe (en metres/minut)
- Velocitat\_km\_h: velocitat en km hora;
- Zones peatonal (velocitat = 20)
  - Zona 30 = 30
  - Prioritat= NO (velocitat = 50)
  - Zones “a 30” = prioritat “Respecteu bicis”

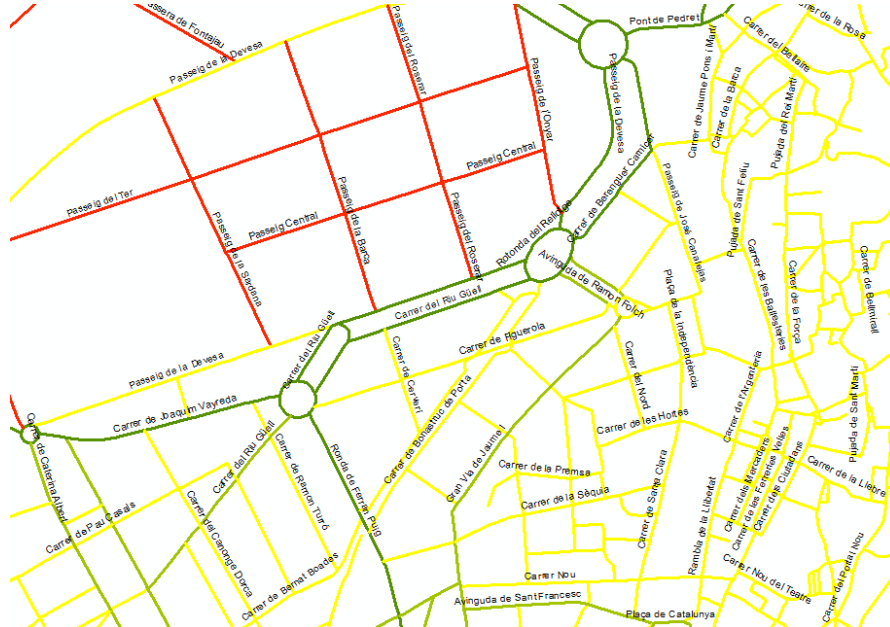
Taula velocitat km/h i metres/minut

| Km/h | Metres/minut |
|------|--------------|
| 4,5  | 75           |
| 20   | 333,3        |
| 30   | 500          |
| 40   | 666,6        |
| 50   | 833,3        |
| 60   | 1000         |
| 70   | 1166,6       |
| 80   | 1333,3       |
| 90   | 1500         |
| 100  | 1666,6       |
| 120  | 2000         |

- Minut\_peu : Minuts a peu (metres/velocitat\_peu)
- Minut\_vehi : Minuts en vehicle (metres/velocitat\_vehi)
- Oneway (sentits dels carrers)
- FT = from-to (va en el sentit que ha estat dibuixada)
  - TF = to-from (va al revés del sentit en què ha esta dibuixada)
  - <res-null> = és de doble sentit
  - N = restringit a qualsevol pas, no s’hi pot passar
- Oneway\_v: restriccions per vianants.
- Elevacions:
- F\_ZELEV = elevació del principi de la línia

- T\_ZELEV = elevació del final de la línia

S'estudia la informació, es tracta, i es fan proves de tot allò que es cregui convenient per obtenir una gran diversitat de mapes i taules. A tall d'exemple es pot simbolitzar la jerarquia de les carreteres tal i com l'ajuntament les cataloga i visualitzar els carrers, així es tindrà una idea de vies de com s'organitza Girona.



### 4.3.1a Fonaments de la teoria de xarxes

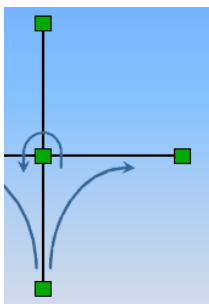
A partir del shape s'elabora un servei de ruta amb ArcGis10, que s'utilitzarà per disposar d'una bateria de rutes verificables i que és compararan amb les obtingudes per OSRM.

Una xarxa és una col·lecció interconnectada de línies i punts que representen elements geogràfics, a través de la qual es poden moure recursos; en aquest cas la xarxa es formada per carreteres i carrers.

Aquest sistema de xarxa és conegut amb el nom de flux indefinit.

Aquest es caracteritza perquè el flux no està totalment controlat pel sistema i els recursos decideixen sobre els possibles camins.

A partir dels punts i les línies s'obtenen tres tipus de geometries:



- 1- Edges: elements lineals per on flueixen els recursos, connectats per les Junctions i derivats dels elements lineals.
- 2- Junctions: elements puntuals que connecten els Edges i deriven dels elements puntuals.
- 3- Girs (opcionals): descriuen transicions entre Edges i deriven d'elements lineals o taules de gir. Poden modelitzar restriccions, s coses alhora.

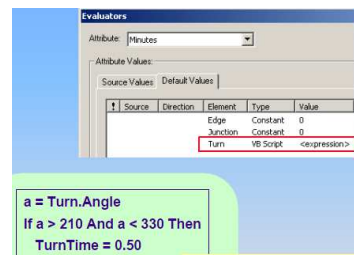
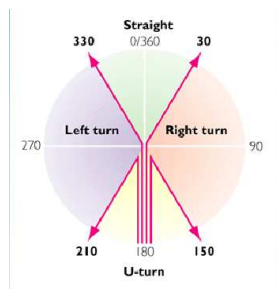
Cal estructurar les dades en un Network dataset, utilitzant l'extensió d'ArcGis Network Analyst.

Per tal d'incorporar **els Girs** a més del shape l'Ajuntament de Girona disposa d'un Feature class anomenat "turns" per tal que a l'incorporar-lo a l'assistent el reconegui i l'inclogui en la construcció de la xarxa. Aquest fitxer conté les direccions de les cruïlles permeses segons les normes vials. Per crear-lo, es pot utilitzar una sessió d'edició d'ArcMap o convertir una taula de girs en un feature class de línies.

L'assistent que s'ha emprat genera, de forma automàtica a la xarxa, per cada parell d'elements lineals, girs a la dreta, girs a l'esquerra, girs en U i seguir recte.

A partir d'aquí, es poden penalitzar certes accions per condicionar les rutes i adequar-les el més possible a la realitat. Un ús típic pot ser aplicar una penalització de gir a l'esquerra i augmentar el seu cost en X segons.

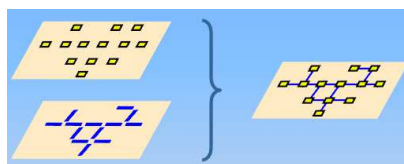
La penalització de girs globals pot definir-se mitjançant un evaluador (VB script); en aquest cas, girar a l'esquerra augmentarà el cost en 30 segons.



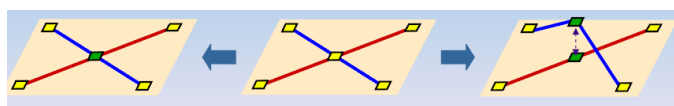
Les propietats de la connectivitat del Network dataset es defineixen segons es connecten els elements lineals i puntuals entre sí, segons la coincidència espacial.

Els girs no participen en la connectivitat, sinó que són els encarregats de la transversalitat.

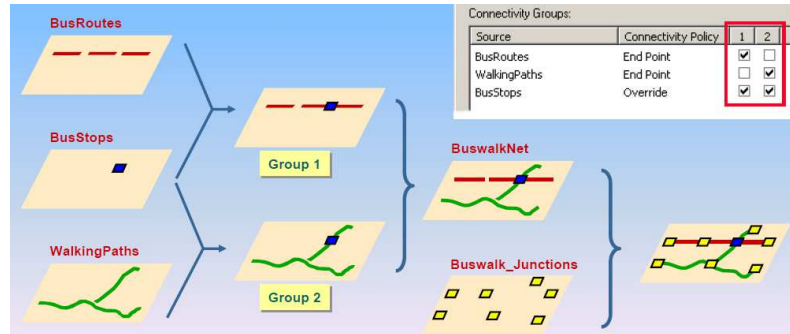
Els Grups de connectivitat i regles són essencials per la connectivitat de la xarxa



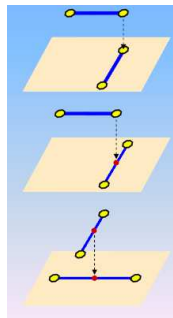
Es pot especificar si es vol incloure o no els camps d'elevacions



Els grups de connectivitat per defecte del Network dataset són un de sol.  
Establir regles de connectivitat permetrà definir com els elements de la xarxa es connecten entre sí dins un grup de connectivitat.



La connectivitat de la xarxa només pot existir en punts de coincidència entre elements linials.



*End point*, la connectivitat existeix

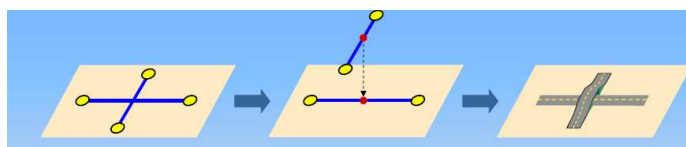
*End point amb vèrtex*, la connectivitat és possible

*Vèrtex amb vèrtex*, la connectivitat és possible

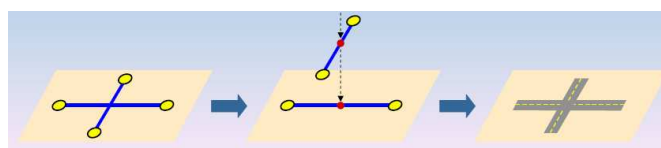
La connectivitat de la xarxa només pot existir en els punts de coincidència entre línies i punts. La resta de creuaments són potencialment possibles.

**Els elements linials** només poden participar en un grup de connectivitat per subtipus i connectar a d'altres elements lineals del mateix grup.  
Per defecte les línies de diversos grups de connectivitat no es connecten entre sí, sinó que s'han d'utilitzar punts per a tal fi.

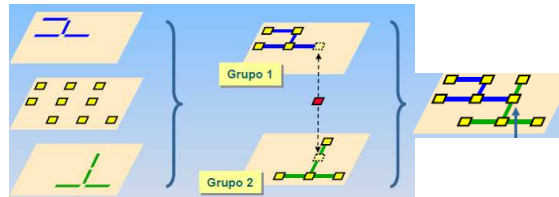
*End point*, per exemple dues línies es superposen, però no estableixen connectivitat



*Any vèrtex*, s'afegeix una nova Junction on coincideixen i s'estableix connectivitat



**Els punts** poden participar en múltiples grups de connectivitat; es connecten als elements lineals del mateix grup de connectivitat o en grups diversos.



La nova Junction actua com a punt de transferència entre els dos grups de connectivitat.

*Honor*, el punt coincident no es connecta amb la línia.



*Override*, el punt coincident genera una nova Junction i queda connectat a la línia.



**Establir atributs** a la xarxa, permet controlar la navegació a través d'aquesta. Per cada atribut s'assigna un avaluador a cada font de la xarxa.

Bidireccional per a les línies

Specify the attributes for the network dataset:

| Name      | Usage       | Units   | Data Type |
|-----------|-------------|---------|-----------|
| Drivetime | Cost        | Minutes | Double    |
| Length    | Cost        | Meters  | Double    |
| Oneway    | Restriction | Unknown | Boolean   |
| Speed     | Descriptor  | Unknown | Integer   |

Length = 100:100  
Drivetime = 10:10  
Oneway = false:false  
Speed = 10:10

Length = 0  
Drivetime = 1  
Oneway = false  
Speed = -1

Length = 0  
Drivetime = 2  
Oneway = false  
Speed = 5

Establir propietats a les direccions, permet escollir quin tipus d'informació és mostrada al generar l'informe de direccions, basat en els resultats dels solucionadors *Route* i *Close Facility*.

També permet seleccionar quins camps (segons el shaperfil que tenim) es visualitzaran:

Pestanya *General*: nom de carrers, prefixes, sufixes, longitud i unitats.

Pestanya *Shield*: camps de nom *Highway shield*.

Pestanya *Boundary*: camps de nom jurisdicció, regió i límits.

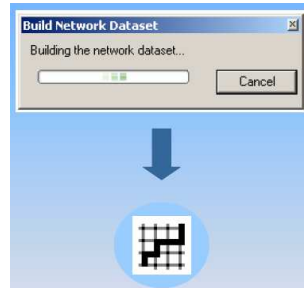


## Construcció de la Network dataset:

La xarxa ha de ser explícitament construïda per l'usuari, des d'arcCatalog o AracMap  
La connectivitat de la xarxa no s'estableix definint una network dataset.  
El procés és flexible i s'assembla a la validació topològica, doncs l'usuari construeix la xarxa a la seva voluntat.

## Resum del procés de construcció de la xarxa:

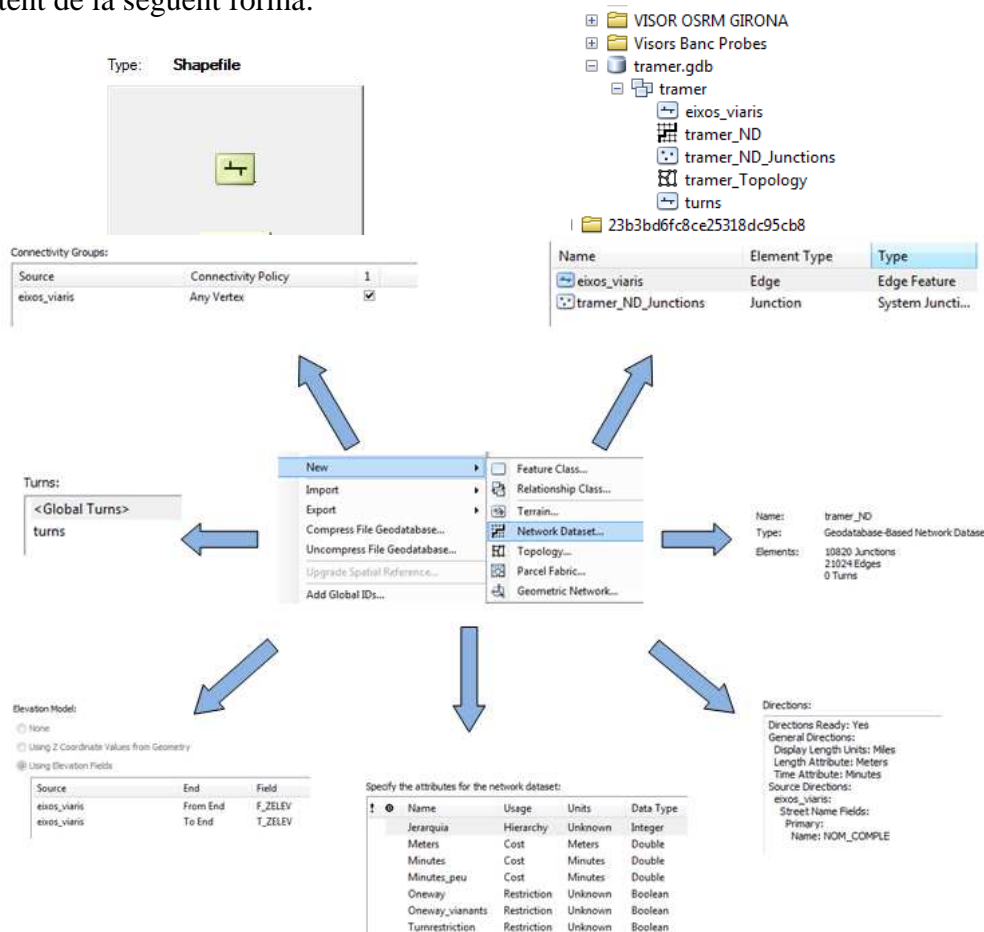
Determinar la connectivitat.  
Crear elements Junction.  
Crear elements Edge  
Crear girs.  
Calcular atributs



### 4.3.1b Creació d'una Network Dataset

A partir del feature class de línies i el feature class de girs facilitats

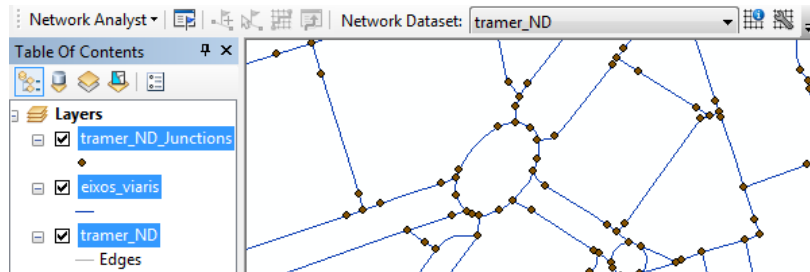
Iniciar arcCatalog  
Activar l'extensió Network Analyst (Tools/Extensions)  
Clicar amb el boto dret sobre el shape, escollir New Network Dataset i completar l'assistent de la següent forma:



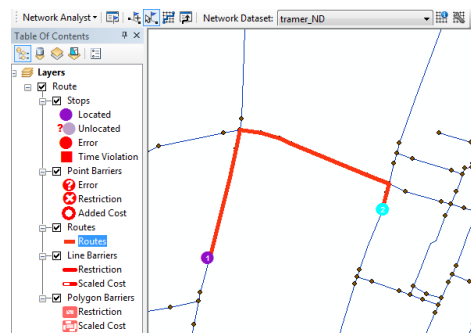


#### 4.3.1c Network Analyst i el processador de rutes

Network analyst és la barra d'eines que ens proposa ArcGis per crear i treballar amb capes d'anàlisi de xarxes. Ens permet interactuar amb el Network dataset que hem creat



Amb les eines actives i la capa carregada es generen rutes que serviran per comprovar si les que es generen amb el programari lliure OSRM són satisfactòries.



Amb aquesta aplicació es poden establir moltíssimes rutes i amb moltes propietats diferents. en funció de les dades inicials.

Els paràmetres comuns d'anàlisi són la impedància, els girs en U (girar 180 graus), el format de sortida (ja sigui real o rectilini) i les restriccions (direccions úniques, límits de pes, girs...).

S'executa un *solve* entre dos punts, és a dir es sol·licita la ruta. Aquest trobarà la ruta que minimitza el cost del viatge. Es permet escollir com establir la impedància, el temps a complir, com buscar un ordre òptim i generar direccions.

També es poden afegir altres restriccions com barreres, limitació de carrers...

### 4.3.2 Generar les dades en format .OSM

Volem replicar amb Open Source Routing Machine (OSRM) el que hem obtingut fins ara amb ArcGis, que alhora ens permetrà contrastar els futurs resultats.

De nou partim amb l'arxiu original en format shaperfile (SHP), donat que és el format d'emmagatzematge de les dades.

Open Source Routing Machine inicia el seu procés a partir d'un arxiu OpenStreetMap (.OSM) com veurem més endavant.

Aquest és un punt vital en el desenvolupament del projecte, ja que les dades inicials han d'estar estructurades de tal manera que en resulti un arxiu .OSM amb tota la informació de la que es disposa inicialment per obtenir itineraris.

Per a la conversió s'utilitza un arxiu anomenat **ogr2osm**, que és un *script* en Python que converteix qualsevol OGR vectorial en format .OSM, en la conversió dels límits del polígon en les relacions. Creat al 2009, l'edició original va ser escrita per Iván Sánchez Ortega, i actualitzada al gener del 2012.

La biblioteca OGR relacionada (OGR Simple Features Library), que és part de la GDAL arbre de codi font, ofereix una capacitat similar per a funcions simples de vectors de dades.

GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) és una biblioteca per llegir i escriure formats de dades geoespacials i està sota permissiva llicència de programari lliure per la Open Source Geospatial Foundation.

Com a biblioteca, presenta un únic i abstracte model de dades per a l'aplicació de trucada per a tots els formats suportats. També pot ser construït amb una varietat d'utilitats per a la traducció i processament de dades.

GDAL / OGR és considerat un dels principals programaris lliures del projecte per les seves "àmplies capacitats d'intercanvi de dades" i també en la comunitat de SIG comercials degut al seu ús generalitzat i complet conjunt de funcionalitats.

Per poder executar-lo cal que s'incorporin les llibreries a la màquina virtual, així doncs s'accedeix al terminal i des d'allà es carregen:

```
Sudo apt-get install python-gdal
```

Si en aquest moment s'executa `ogr2osm.py`, per defecte, s'afegiran tots els atributs de l'arxiu d'origen a l'arxiu de OSM. Però es pot subministrar una funció de conversió basada en Python per convertir els atributs en etiquetes OSM.

Això permet a l'usuari aprofitar al màxim el llenguatge Python per als atributs de procés, com ara la fixació de les abreviatures o capitalització.

Per la realització d'aquest projecte que ens ateny, s'han preparat dos arxius per a l'Ajuntament de Girona.

Umat\_ogr2osm.py i un de translació d'atributs específics, el `eixos.py`.

**Umat\_ogr2osm.py** conté una funció (*translationMethod*) que inicia **eixos.py**:

```
if translationMethod:
    try:
        sys.path.append(os.getcwd() + "/translations")
        module = __import__(translationMethod)
        translateAttributes = module.translateAttributes
        translateAttributes([])
    except:
        print "Could not load translation method " + translationMethod + ".
Check the translations/ directory for valid values."
        sys.exit(-1)
        print "Successfully loaded " + translationMethod + " translation method."
else:
    # If no function has been defined, perform no translation: just copy everything.
    translateAttributes = lambda(attrs): attrs
```

**eixos.py** és un arxiu que defineix "translateAttributes" que, tenint un directori d'atributs (clau: valor), retornarà un directori d'etiquetes (clau: valor).

```
def translateAttributes(attrs):
    if not attrs: return

    tags = {}

    if attrs['OBJECTID']:
        tags.update({'objectid':attrs['OBJECTID']})
```

cal destacar la importància en què els noms dels atributs siguin els mateixos (majúscules, espais...) que al .SHP original. Un exemple per la transformació del nom dels carrers seria el següent:

```
if attrs['NOM']:
    tags.update({'name':attrs['NOM']})
    tags.update({'name:ca':attrs['NOM']})
```

A l'arxiu **Umat\_ogr2osm.py** també s'han modificat un seguit de paràmetres per tal d'obtenir els identificadors en positiu, que més endavant haurien donat errors si fossin negatius.

```
# elementIdCounter = -1 (original a ogr2osm.py)
elementIdCounter = 1 (versió Umat)
```

## **Execució**

Cal col·locar tots els elements a la màquina virtual i arrencar el terminal per executar la comanda:

```
user@ubuntu:~/visorGirona$ python umat_ogr2osm.py -p "+proj=utm  
+zone=31 +ellps=intl +units=m +no_def +nadgrids=/home/user/grids  
/100800401.gsb +wktext" -t eixos eixos.shp
```

On *eixos.shp* és el .shp original amb les dades de Girona i *100800401.gsb* es la malla NTV2 de Catalunya (ed50 a etrs89) per tal de corregir la projecció. Si no s'especifica projecció *ogr2osm.py* la buscarà al fitxer original i, si no la troba, assumirà EPSG:4326(WGS).

El resultat és un arxiu OSM, el *eixos.osm*.

### 4.3.3 Generar les dades en format .OSRM

#### 4.3.3a Extracció de la Xarxa

Les dades de l'arxiu .OSM poden incloure informació que és irrellevant per l'enrutament, com ara posicions d'escombraries públiques, llocs d'interés, etc. A més, les dades no s'ajusten a una norma dura i la informació important pot ser descrita de diverses maneres. Per tant, cal extreure les dades d'enrutament en un format normalitzat. Això es fa amb l'eina OSRM anomenat *extractora*

El perfil de velocitat (*profile.lua*) s'utilitza durant aquest procés per determinar el que es pot encaminar, i el que no (carreteres privades, etc). Per tal d'obtenir una **profile.lua** adequada, cal fer un enllaç simbòlic dins del directori de construcció:

```
ln -s ../profiles/car.lua profile.lua
```



També podria ser necessari afegir un enllaç simbòlic al directori *lib* perfil dins del seu directori de construcció:

```
ln -s ../profiles/lib/
```

Es disposa d'un arxiu de dades d'OSM amb el nom *eixos.osm* (un arxiu XML amb una extensió .osm). Es podria extreure aquest fitxer fent servir OSRM amb la següent comanda que escriu un seguit de fitxers amb el sufix .OSRM.

És creat per la línia d'ordres:

```
./osrm-extract eixos.osm
```

**eixos.osrm** que conté les dades d'enrutament.

**eixos.osrm.Restrictions** que conté restriccions per fer certs itineraris.

**eixos.osrm.Names** que conté els noms de totes les vies.

#### 4.3.3.b Creació de la jerarquia

L'anomenada Jerarquia és una gran quantitat de dades precalculades que permetrà al motor d'enrutament trobar la ruta més curta en molt poc temps. És creada per la línia d'ordres

```
./osrm-prepare eixos.osrm eixos.osrm.restrictions
```

On eixos.osrm és la xarxa de carreteres i eixos.osrm.restrictions és un conjunt de restriccions de gir. Ambdues són generades pel pas anterior. Una estructura de dades del veí més proper i un mapa de nodes es creen al costat de la jerarquia. Un cop ha finalitzat el càlcul, obtenim quatre arxius:

**eixos.osrm.hsgr** (la jerarquia)

**eixos.osrm.nodes** (la nodemap)

**eixos.osrm.ramIndex** (estadi índex 1)

**eixos.osrm.fileIndex** (etapa índex 2)

|                         |                  |                      |           |
|-------------------------|------------------|----------------------|-----------|
| 100800401.gsb           | 09/11/2010 9:26  | Archivo GSB          | 26 KB     |
| eixos.osm               | 11/11/2013 11:51 | Archivo OSM          | 18.196 KB |
| eixos.osm~              | 28/05/2012 15:23 | Archivo OSM~         | 17.476 KB |
| eixos.osrm              | 13/11/2013 11:42 | Archivo OSRM         | 6.938 KB  |
| eixos.osrm.edges        | 13/11/2013 11:43 | Archivo EDGES        | 3.753 KB  |
| eixos.osrm.fileIndex    | 13/11/2013 11:43 | Archivo FILEINDEX    | 8.575 KB  |
| eixos.osrm.hsgr         | 13/11/2013 11:43 | Archivo HSGR         | 8.882 KB  |
| eixos.osrm.names        | 13/11/2013 11:42 | Archivo NAMES        | 21 KB     |
| eixos.osrm.ramIndex     | 13/11/2013 11:43 | Archivo RAMINDEX     | 60 KB     |
| eixos.osrm.restrictions | 13/11/2013 11:42 | Archivo RESTRICT...  | 1 KB      |
| find.py~                | 28/05/2012 15:05 | Archivo PY~          | 2 KB      |
| generar_eixos.sh        | 28/05/2012 10:58 | Archivo SH           | 1 KB      |
| mini.osm~               | 04/11/2013 13:25 | Archivo OSM~         | 6.895 KB  |
| ogr2osm.py              | 07/06/2010 13:20 | Python File          | 26 KB     |
| osrm-extract            | 03/10/2013 12:18 | Archivo              | 1.545 KB  |
| osrm-prepare            | 03/10/2013 12:18 | Archivo              | 439 KB    |
| osrm-routed             | 03/10/2013 12:19 | Archivo              | 738 KB    |
| profile.lua~            | 20/11/2013 12:59 | Archivo LUA~         | 7 KB      |
| server.ini              | 13/11/2013 11:44 | Opciones de confi... | 1 KB      |
| server.ini~             | 06/11/2013 12:02 | Archivo INI~         | 1 KB      |
| umat_ogr2osm.py         | 29/11/2013 10:19 | Python File          | 26 KB     |
| umat_ogr2osm.py~        | 29/11/2013 10:18 | Archivo PY~          | 26 KB     |

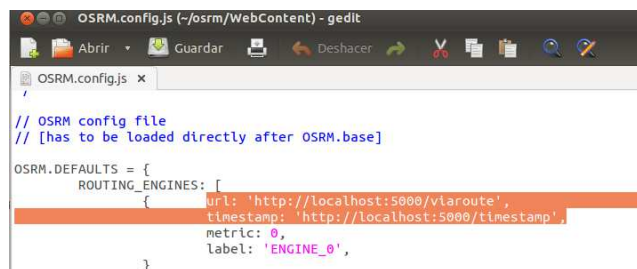
#### 4.3.3.c El funcionament del motor

Per al correcte funcionament s'han modificat un seguit d'arxius localitzats dins la carpeta arrel d'OSRM.

Dins la carpeta **web content**;

- 1- L'arxiu `osrm.config.js` on s'hi ha modificat el següent:

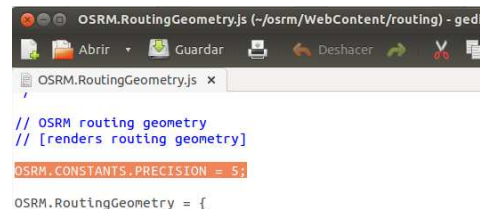
*'http://localhost:5000/viaroute',  
timestamp: 'http://localhost:5000/timestamp',*



```
OSRM.config.js (~osrm/WebContent) - gedit
// OSRM config file
// [has to be loaded directly after OSRM.base]

OSRM.DEFAULTS = {
  ROUTING_ENGINES: [
    {
      url: 'http://localhost:5000/viaroute',
      timestamp: 'http://localhost:5000/timestamp',
      metric: 0,
      label: 'ENGINE_0',
    }
  ]
}
```

- 2- Dins la carpeta **Routing**, l'arxiu `osrm.routing.geometries.js`, s'hi ha modificat el *constant precision* de 6 a 5, fet que farà que el zoom ens funcioni millor.

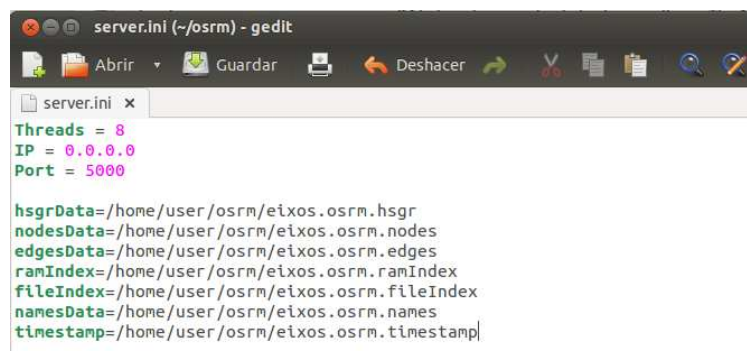


```
OSRM.RoutingGeometry.js (~osrm/WebContent/routing) - gedit
// OSRM routing geometry
// [renders routing geometry]

OSRM.CONSTANTS.PRECISION = 5;

OSRM.RoutingGeometry = {
```

A l'arxiu **server.ini** s'hi ha establert la ruta correcta de les dades creades i que s'utilitzaran per cercar rutes:



```
server.ini (~osrm) - gedit
Threads = 8
IP = 0.0.0.0
Port = 5000

hsgData=/home/user/osrm/eixos.osrm.hsg
nodesData=/home/user/osrm/eixos.osrm.nodes
edgesData=/home/user/osrm/eixos.osrm.edges
ramIndex=/home/user/osrm/eixos.osrm.ramIndex
fileIndex=/home/user/osrm/eixos.osrm.fileIndex
namesData=/home/user/osrm/eixos.osrm.names
timestamp=/home/user/osrm/eixos.osrm.timestamp
```

Per posar en funcionament el servei de rutes cal que s'executi la comanda:

```
./osrm-routed
```

A partir d'ara, el servidor restarà a l'espera de rebre les sol·licituds de rutes.

### 4.3.4 Restriccions de les rutes obtingudes amb OSRM

Aquesta és la definició d'un conjunt d'etiquetes i dels membres que fan possible una relació per representar una **restricció de gir** en una cruïlla o altres restriccions (que poden anar canviant o no; per exemple, permetre seguir recte, prohibir girar a l'esquerra, etc.

#### 4.3.4a Restriccions

L'arxiu de nom `.osrm.restrictions`

Aquest fitxer conté totes les restriccions de gir que apareixen en el conjunt de dades `.osm`.

L'arxiu comença amb:

( Unsigned int (4 bytes) ) : nombre de restriccions que es puguin utilitzar

A continuació, per a cada restricció s'ordena:

- ( Unsigned int (4 bytes) ) : referència de la via de node
- ( Unsigned int (4 bytes) ) : referència de la de - node. Els autors defineixen la de-node com el node dins de-forma que és el més proper a la via-node. Aquest node no necessita connectar-se a una altra forma.
- ( Unsigned int (4 bytes) ) : referència de la de - node. Els autors defineixen la de-node com el node dins de-forma que és el més proper al node. Aquest node no necessita connectar-se a una altra forma.
- (8 bits): en l'actualitat, només s'utilitza el primer bit, el que resulta en 00 HEX o HEX 01. 00 indica que és un gir prohibit. 01 indica que els girs només es permeten (pel que els altres estan prohibits).
- ((3 bytes )): 7F - codi Hex 00 00

Aquest arxius són binaris i no es poden editar, fet que comporta que totes les accions s'han d'indicar en el `.shp` o els arxius de transformació que generaran el `.OSM` i que generarà el `.OSRM`.

#### 4.3.4b JOSM

Per editar les dades .OSM es necessari un editor. Amb aquesta finalitat, el projecte OpenStreetMap facilita als contribuents diferents opcions, com ara Merkaartor, Potlatch, ID i JOSM.

S'ha escollit l'editor "off-line" JOSM per aquest projecte, que és una aplicació d'escriptori que l'usuari es descarrega i executa directament a l'ordinador. Està basada en tecnologia Java i és multiplataforma. Actualment, és l'editor més avançat que l'usuari pot utilitzar i en el qual estan involucrades en el seu desenvolupament un major nombre de persones.

L'editor permet crear dades o descarregar-ne des d'OpenStreetMap. En aquest cas, no s'ha donat aquesta utilitat, donat que s'ha creat el un .OSM "privat", elaborat a partir del .SHP.

JOSM ha permès l'interpretació de les dades i entendre com s'estructuren a OpenStreetMap. Entendre com s'estructuren els atributs i les etiquetes ha estat cabdal a l'hora de poder transformar el .SHP a .OSM, ja que inicialment no s'aconseguia aquest pas.

Utilitzant aquest editor i comprenent com funciona, es va poder estructurar el .SHP original de tal forma que el nom dels atributs fossin posteriorment reconeguts per OSRM.

Els arxius de Python també van haver de ser modificats per tal que transformessin correctament les dades.

Així doncs, l'utilitat que en aquest projecte s'ha donat a l'editor JOSM, no ha estat l'edició en sí, sinó un "banc de proves" per aprendre com tractar la informació per tal que OSRM pogués incorpora-la en els seus càlculs per generar rutes.

Per entendre la dinàmica es van dibuixar punts i línies als quals poder-hi assignar un o varis atributs que els caracteritessin. Per exemple, a una línia se li assigna una etiqueta i clau "*highway:motorway*" per indicar que és una autopista i "*name: Autopista AP-7*" per indicar el seu nom.

En principi, qualsevol pot assignar lliurement els atributs, però l'OSRM els mal interpreta; així doncs, és recomanable tenir en compte l'ontologia aprovada per la comunitat i documentada en la Wiki del projecte.

#### 4.3.4c Tipus d'etiquetes

Hi ha moltes etiquetes i cadascuna una serveix per diverses finalitats. Les tres més freqüents són:

Element Tags: Aquestes etiquetes consisteixen en 1 bit d'informació cada (per ex.: *oneway=yes*, *lanes=2*).

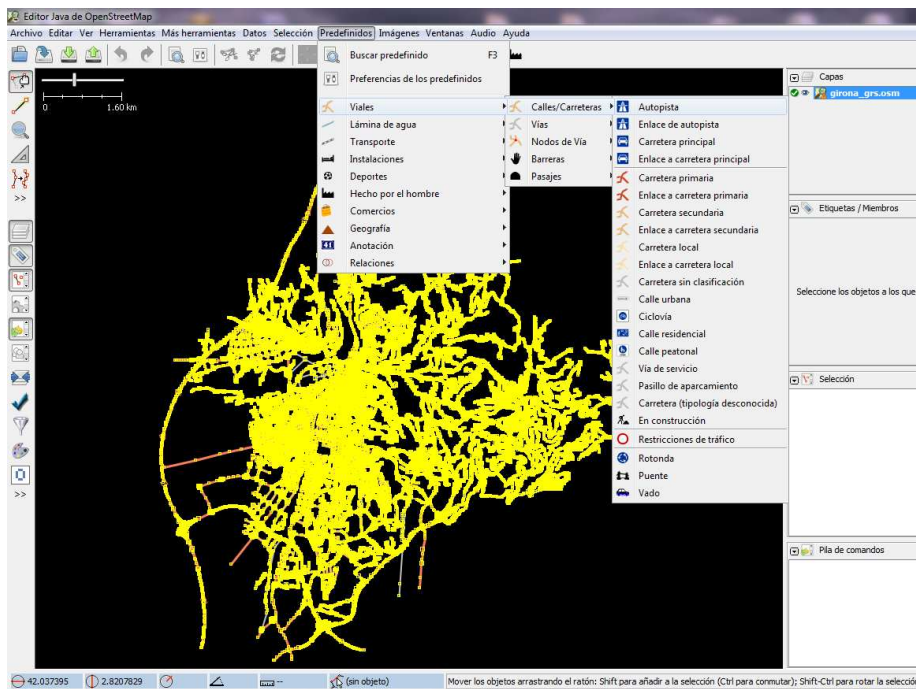


**Pre-defined Tags:** Aquestes etiquetes són dreceres predeterminades amb el valor de molts elements etiqueta. (per ex.: *highway=motorway*, que seria el mateix que *lanes=3 oneway=yes maxspeed=112* etc. Quan s'utilitza al Regne Unit).

**Tweaking Tags:** Aquestes etiquetes poden utilitzar-se per adaptar una etiqueta predeterminada (per ex.: *motorcycle=no* pot utilitzar-se juntament *highway=motorway* per etiquetar un lloc on no poden circular els motoristes).

Les etiquetes estan pensades per ser utilitzades en tipus diferents de dades. Només per nodes, només per àrees o només per vies, però sovint poden incloure varies o tots els tipus de dades sota una mateixa etiqueta.

Hi ha moltes etiquetes que poden descriure totes les característiques reals d'una via però inicialment només cal l'etiqueta *highway=\** a una via. Un cop fet això, ja podem guardar l'arxiu .osm i OSRM el llegirà.



D'aquesta forma s'aconsegueix adaptar les dades per obtenir restriccions de gir basades en Oneway

#### 4.3.4c Representació gràfica

OSRM converteix les dades .OSM a un gràfic d'amplada expandida, atès que les dades d'entrada són correctes .

Les dades provenen del .OSM, que té nodes, formes i relacions.

La representació geomètrica dins OSRM es basa en nodes. Un node d'OSM és un punt 2D amb la latitud i la longitud, és a dir, amb geocoordenades .

La forma com OSM es connecta amb un nombre de nodes és a través d'una línia 2D,

formada per un nombre de segments. Diversos segments poden compartir el mateix node on es creuen, establint una relació.

Una relació .OSM es refereix a diversos nodes o formes, o tots dos. Pot ser utilitzada per restriccions de gir, rutes i altres relacions. Una relació no és sovint una estructura física, sinó una abstracció, com per exemple una ruta d'autobús.

OSRM carrega les dades .OSM i les transforma en un gràfic de gruix ampliat que s'adapta millor, al seu torn, els costos de modelatge i restriccions de gir. Suposem que es carreguen les dades .OSM següents :

```
|||D|
|A|b|c|
|||E|
```

Les dades consisteixen en dues vies: abc i DcE , reunides al node c .

En primer lloc, tots els camins es divideixen en segments individuals: ab, bc, cd, ce .  
Per cada segment es creen dos nodes del graf, un per a cada direcció de la sèrie de sessions:

ab, ba  
bc , cb  
cd , cd  
ce , ce

Una forma es creada a continuació, on per a cada possible moviment provinent d'un node gràfic (direcció d'un segment de OSM) a un altre. Si es permet que totes les formes ( incloent girs en U ), de l'esquema de dalt, obtenim aquestes formes:

|         |         |
|---------|---------|
| dc -cd  | bc - ce |
| dc - cb | cd - dc |
| dc - ce | cb -va  |
| ab - ba | cb - bc |
| ab - bc | ce - ec |
| ba - ab | ec -cd  |
| bc -cd  | ec - cb |
| bc - cb | ec - ce |

*Edge* s'ha escrit en la forma "*fromGraphNode - toGraphNode*", ja que només pot moures al llarg dels camins connectats, el segon node del gràfic sempre comença on acaba el primer.

La llista anterior inclou tots els possibles girs en U. Per exemple ab-va representa un canvi de sentit a OSM, el node b d'OSM seria abc. OSRM elimina aquests girs en U, i obtenim:

ab - bc ( de ab, continuï bc )  
ba - ab ( de ba, fer un canvi de sentit en una i retorn de la ab )  
bc - cd ( de bc, giri a l'esquerra dc )  
bc - ce ( de bc, giri a la dreta en ce )  
cb -va ( de cb, continuar pel bc )  
cd - dc ( de cd, fer un canvi de sentit en D i retorn del corrent continu )  
ce - ec ( de ce, no girar en direcció i retorn de la ec )  
dc - cb ( de cc, giri a la dreta en cd )  
c - ce ( de corrent continu, continuï ce )  
ec - cd ( de ec, continuar en cd )  
ec - cb ( de ec, giri a l'esquerra cb )

OSRM també eliminarà els girs prohibits per restriccions de gir .

Els nodes gràfics representen una determinada direcció (cap endavant o cap endarrere) d'un segment d'OSM. Hi ha dos nodes del graf per a un segment bidireccional, però només un si és un segment d'un sol sentit.

Els gràfics de formes connecten nodes del graf i, per tant, representen la transició de moure's en una direcció específica d'un segment de OSM. Per moure's en una direcció específica d'un altre (o el mateix) segment d'OSM. La transició pot ser; a través d'un gir d'una forma a una altra forma, fent un canvi de sentit o en moviment d'un segment al llarg de la mateixa forma.

#### 4.3.4d Servidor de l'API

OSRM (parcialment) implementa HTTP 1.1 i ofereix consultes de la mateixa manera que els servidors web normals.

OSRM ofereix tres serveis:

- 1- Localització d'un node més proper de la xarxa viària a una cota determinada.
- 2- Localització d'un punt més proper en qualsevol segment del carrer de la xarxa de carreteres d'una coordenada determinada.
- 3-Càlcul d'una ruta més curta a la xarxa viària entre dues coordenades donat una llista ordenada dels punts intermitjos.

La disposició general d'una consulta és molt semblant a les cadenes de consulta de http . Una vegada OSRM inicia l'escolta de connexions entrants, se s'oposa que un servidor escolta al port 5000.

En qualsevol servei es pot consultar

*[http://server:5000/\\_service\\_?param1=value&param2=value&...&paramX=value](http://server:5000/_service_?param1=value&param2=value&...&paramX=value)*

El "veí més proper" es basa en una estructura de dades de la memòria externa en el disc

dur. Per mantenir el nombre d'accessos, només cal buscar en una àrea limitada al voltant de la coordenada d'entrada.

El punt de node més proper es consulta mitjançant l'enviament d'una petició amb el següent format :

*http://server:5000/locate?loc=\_lat\_ , \_lon\_*

On lat i lon són la latitud i la longitud de la coordenada respectiva. Per exemple; la següent consulta preguntaria pel node més proper a un cert lloc:

*http://server:5000/locate?loc=52.4224 , 13.333086*

La resposta que es retorna és el següent :

```
{  "version" : 0.3 ,
  "status" : 0 ,
  "Mapped_coordinate " : [
    52.41427 ,
    13.32626
  ] ,
  " TransactionID " : " OSRM Routing cerca JSON Locate ( v0.3 ) " }
```

Paràmetres addicionals ( JSONP )

La resposta ve en formatat JSON, que pot ser processat addicionalment per molts llenguatges de programació sense molts preàmbuls. La sortida també es pot formatar com JSONP, per exemple:

*http://server:5000/nearest?52.555485441735&13.342227642887&jsonp=function*

Retorna la sortida JSON embolicat per la funció ( ), que és fàcilment processable per JavaScript :

```
( { "version" : 0.3 , "status" : 0 , " resultat" : [ 52.55567 , 13.34252 ] , " TransactionID
" : " OSRM Routing cerca JSON proper ( v0.3 ) " } )
```

### 4.3.5 Personalització del Web Content

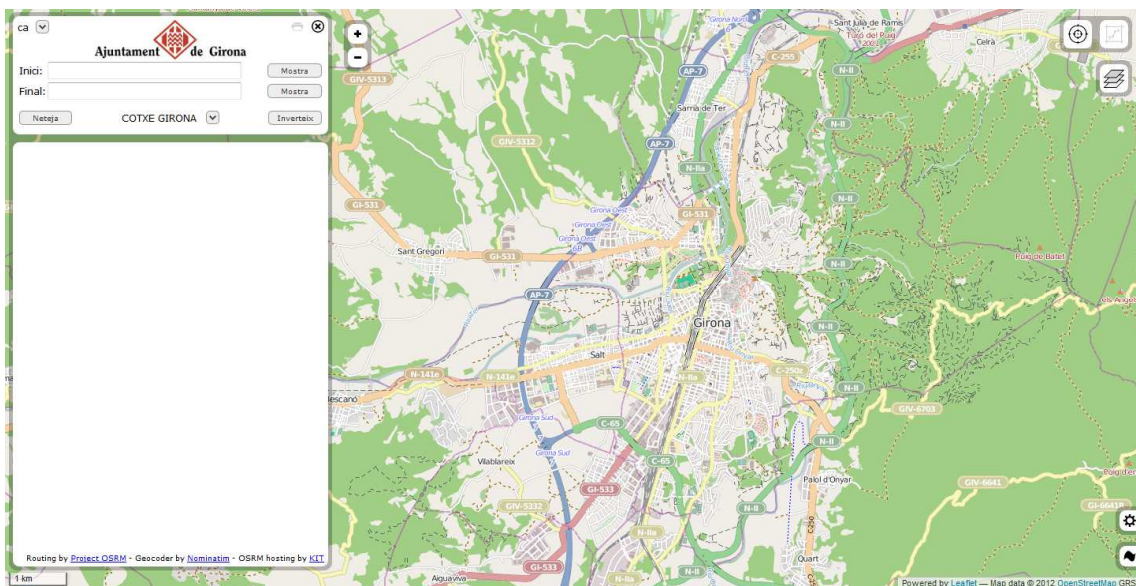
El pack compilat que conté OSRM ens aporta una carpeta anomenada Web Content. Aquesta carpeta ens facilita un visor on es poden sol·licitar les rutes i s'hi mostren els resultats.

En el pas anterior s'ha vinculat aquesta interfície d'usuari facilitada amb el servidor de rutes creat. En un futur, aquest visor s'abandonarà i el servei s'integrarà al visor de l'Ajuntament de Girona.

L'important aquí és provar les rutes, observar si compleixen les restriccions incorporades i comparar-les amb les d'ArcGis.

Per personalitzar la interfície es creen els arxius **Girona.html** i **OSRM.Girona.config.js** seguint el model proposat per OSRM.

En ells s'hi modificaran els Logotips, les extensions, l'escala, els mapes de fons, caixetins, etc



El resultat d'aquest projecte pot observar-se obrint l'arxiu Girona.html:



La cantonada superior esquerra ens permet modificar l'idioma.

A la cantonada superior dreta hi ha una icona per imprimir un cop cercada la ruta, i una altre per tancar aquet caixetí i veure millor el mapa de fons.

Al centre es col·loca el logotip de l'Ajuntament de Girona i a sota hi ha un espai reservat per introduir direccions postals: una des del punt de partida i una per a la destinació.

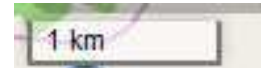


El boto "neteja" ens facilita el buidatge de les dades introduïdes, i el boto "inverteix" capgira el sentit de la ruta cercada.

Al centre de la part inferior es disposa d'un desplegable que permet canviar les restriccions de la ruta que es vol obtenir. En el projecte s'inicien tres perfils, un per circular en vehicles motoritzats, un per vianants i un per bicicletes.

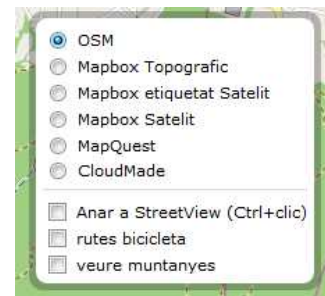


Aquest icona interactua amb el Zoom del mapa augmentant o reduint l'escala, que es mostra a la part inferior esquerra del visor.

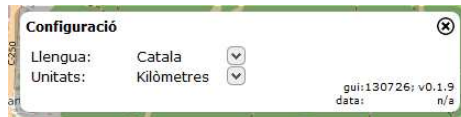


Aquestes dues icones de la part superior dreta del visor ens ajuden a ubicar-nos i centrar la ruta.

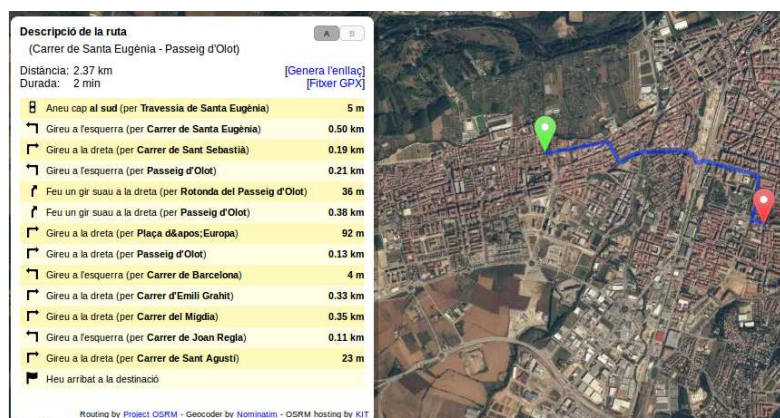
Si activem la icona de les capes, se'ns mostraran els serveis WMS i WFS disponibles, en el aquest cas són els de l'imatge.,



A la part inferior dreta hi ha les icones de configuració general que obren els següents menús:



Sota el caixetí inicial i ocupant el lateral esquerre s'ubica el full de ruta inicialment en blanc on, un cop obtinguda aquesta, ens mostrarà els detalls:



Inici de ruta



Final de ruta

## **5 RESULTATS**

El més destacable és que es poden calcular rutes dins de l'àmbit de Girona en temps real, on a més, es respecten la restricció "oneway", respectant, la no connexió en els creuaments amb túnels o ponts.

S'ha elaborat un procés de conversió de dades de forma gairebé directe, transformant el shape original a format OSM i que alhora es tractable per OSRM.

S'ha generat una adequació de l'interfície d'usuari a través d'un Visor del projecte OSRM modificat perquè treballi amb el servidor OSRM local, on s'hi poden sol·licitar, visualitzar i modificar les rutes.

En aquest cas, s'ha decidit facilitar als usuaris la possibilitat de triar entre el càlcul d'itineraris per a vianants o per a vehicles.

La diferència entre els dos mètodes de càlcul d'itineraris radicarà en què, per una banda, els vianants no poden circular per vies ràpides (autopistes, etc) i, per l'altra, que els vehicles es veuen sotmesos a una sèrie de limitacions pel que fa als sentits de recorregut de determinades vies (aquelles d'un sol sentit), mentre que els vianants no tenen aquesta limitació.

Es considera això admissible donat que s'estan fent servir dades reals en un servei OSRM en desenvolupament, ja sigui fent servir taules diferents per a vianants i vehicles o bé incloent ambdues geometries a una mateixa taula i assegurant-se que les geometries queden adequadament classificades.

És interessant, doncs, que els camins siguin realment mínims i que la seva representació a sobre el mapa sigui el més acurada possible.

S'ha comprovat que, amb certes limitacions pel que fa a la càrrega de les dades d'enrutament, resulta possible obtenir un sistema d'enrutament plenament funcional a sobre Linux amb programari lliure.

Ha quedat demostrat que, almenys pel que fa a la ciutat de Girona, les dades recol·lectades són una font molt bona per a un sistema d'enrutament real. Només ha calgut una petita adaptació i correccions per fer-les funcionar en OSRM en comptes de en el Network d'ESRI, i per tant han estat més que satisfactòries per provar OSRM.

Esmentar aquí de forma positiva que, pensant en una futura implementació, aquestes dades haurien d'optimitzar-se per explotar al màxim OSRM. Pel que fa a la funcionalitat d'enrutament, caldria comprovar el seu funcionament en unes condicions de càrrega i de treball reals amb l'objectiu de comprovar així la velocitat real de l'aplicació.

Amb l'objectiu de comprovar si s'han assolit els objectius proposats, es pot fer una comparació dels resultats de càlcul d'itineraris mínims que s'obtenen amb ArcGis i amb el sistema que es proposa en aquest treball, OSRM, d'on deduïm que:

El programari desenvolupat retorna un recorregut correcte per a qualsevol ruta sol·licitada, tenint en compte les restriccions que s'han pogut introduir al servei d'OSRM.

L'itinerari comença al punt origen de manera precisa i s'acaba de la mateixa manera al punt de destinació. Així mateix, es poden incloure punts intermedis a voluntat de l'usuari i es recalcula la ruta automàticament.



## **6 CONCLUSIONS**

La finalitat del Projecte final del Màster en Tecnologies de la Informació Geogràfica és aprofundir amb un projecte real en el camp de les noves tecnologies de la informació geogràfica i agafar experiència en el món laboral.

Com hem anat veient al llarg d'aquesta memòria, OpenStreetMap és una mica més que una col·lecció de dades que podem descarregar de la xarxa.

Segons la web d'OpenStreetMap (OSM): *"OpenStreetMap és un mapamundi lliure, creat per gent com tu"*

L'estat d'evolució de la cartografia OpenStreetMap ha afavorit l'aparició de noves eines, el resultat ha enriquit encara més el valor intrínsec de la seva pròpia cartografia. Una cosa molt habitual en els projectes col·laboratius de programari lliure.

A més de la pròpia descàrrega i edició de dades, hi ha eines que permeten donar a OSM un recorregut molt més ampli, permetent la possibilitat de generar diferents aplicacions tant en xarxa com fora de la xarxa, amb component espacial lliure.

Per tot això, OpenStreetMap treballa en dos fronts. D'una banda, permet als seus col·laboradors crear i compartir dades geogràfiques obertes i lliures, i de l'altra, pressiona institucions i administracions públiques perquè alliberin les seves.

En aquesta immensitat d'aplicacions destaquen les eines per al càlcul de rutes òptimes molt demandades per infinitat d'usuaris i grans sectors econòmics com ara la indústria automobilística, entre d'altres clients potencial.

Open Source Routing Machine (OSRM) és un servei d'enrutament. A diferència de la majoria dels servidors d'enrutament OSRM, no utilitza un algorisme A\*, una variant per calcular el camí més curt, sinó que funciona amb Contracció de Jerarquies.

Hom pot pensar que OSRM és un lloc web més d'enrutament amb dades provinent de OpenStreetMap. Pot ser, però cap d'ells és tan ràpid ni pot gestionar tantes sol·licituds com aquest. A més a més, no està limitat en quan a l'origen de les dades, com s'ha explicat.

Segons el meu parer, estem en un punt on trobem dues opcions de rutes disponibles:

Una opció que proporciona un encaminament molt ràpid, tal com OSRM, i un altre grup de programes que faciliten l'ajust i la configuració i són capaços de treballar amb diferents etiquetes d'OSM, fet que amb OSRM és complex, degut sobretot a l'etiquetatge de nivell mundial amb al seva gran riquesa i diversitat.

Es pot dir amb claredat que el servei Open Source Routing Machine investigat al llarg d'aquest projecte és realment sorprenent i deixa entreveure un potencial inimaginable. Molta de la tasca que s'ha realitzat ha estat la transformació de dades pròpies al format OSM que de moment, és l'interpretat per OSRM. Aquest fet permet clarament no dependre de l'actualització de dades per part d'OpenStreetMap i alhora no compartir, si s'escau amb la resta d'usuaris, dades de caire intern, provisionals, privades, etc.

El resultat implica tenir tot el procés controlat i poder fer els canvis quan es creguin oportuns, en qualsevol moment i en qualsevol punt del procés.

Per acabar, comentar que no només s'han assolit en excés tots els objectius del projecte, sinó expressar aquí la satisfacció personal d'encarar un repte i convertir-lo en quelcom de profit, creure que la feina feta ha valgut la pena i desitjar haver pogut aplanar el camí a futurs interessats en el tema.

Agrair de forma clara als meus tutors, Ignacio Ferrero i Manel Clos, juntament amb l'Anna Bou (UMAT) per la seva dedicació i bones maneres, juntament amb la paciència i l'interés mostrats.

## **7 ASPECTES A CONSIDERAR I MILLORES DE FUTUR**

Deixar constància que cal tenir molt en compte si es modifiquen els arxius de Python, ja que les dades .OSM, han de ser carregades a OSRM amb els identificadors en positiu i mínim han d'incloure una versió.

De la mateixa manera és important el nom dels atributs a l'origen de les dades i als arxius de Python, donat que sinó no hi haura vinculació.

Pel que fa a Open Source Routing Machine, caldria encara:

1. Esbrinar la funció del perfil.lua, ja que s'ha manipulat per tal d'obtenir diferents perfils de velocitat i restriccions i no s'ha aconseguit. Aquest atributs provenen de les dades inicials i no s'han pogut modificar per aquesta via, fet que seria realment útil.
2. Augmentar les restriccions de gir.

Pel que fa a possibles millores del sistema d'enrutament obtingut, cal:

1. Per una part la millora de la interfície d'usuari, a poder ser inserir el servei OSRM al visor de l'Ajuntament de Girona.
2. Per altra banda seria possible afegir informació addicional a la base de dades, amb la recollida de dades específiques que incloguin semàfors i passos per a vianants, així com escales (amb un cost diferenciat), passatges, peatges, senyals de trafic, etc.
3. Es podria implementar un nou perfil per a ciclistes amb rutes preferents per carril bici.
4. També es podrien fer descripcions literals, amb informació dels horaris per autobusos, trens, etc

## **8 BIBLIOGRAFIA**

Ajuntament de Girona: [www.girona.cat](http://www.girona.cat)

LIGIT: <http://ligit0.uab.es/web/>

Pàgina oficial OpenStreetMap: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)

Pàgina oficial Open Source Routing Machine: <https://github.com/DennisOSRM/Project-OSRM/wiki/Server-api>

Pàgina d'on és basa el Visor: <http://map.project-osrm.org/>

Pàgina oficial d'OpenLayers: [www.openlayers.org](http://www.openlayers.org)

Pàgina oficial de Leaflet: [www.leafletjs.com](http://www.leafletjs.com)

Pàgina oficial de GeoExt: [www.geoext.org](http://www.geoext.org)

Pàgina oficial de ExtJS: [www.sencha.com/products/js](http://www.sencha.com/products/js)

Pàgina oficial d'OGC: [www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)

Enciclopèdia digital: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Ajuda d'ArcGis: <http://help.arcgis.com>

Manuals varis d'HTML, CSS, JavaScript, Python:

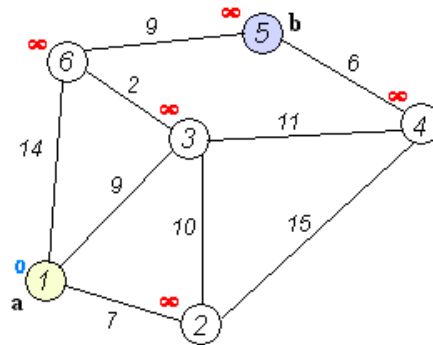
<http://www.w3schools.com/html/>

<http://reference.sitepoint.com/html>

[www.internetmania.net](http://www.internetmania.net)

## 9 ANNEX

### Algoritme de Dijkstra



L'algoritme de Dijkstra, també anomenat algoritme de camins mínims, és un algoritme per a la determinació del camí més curt donat un vèrtex d'origen a la resta de vèrtexs en un graf dirigit i amb pesos a cada aresta. El seu nom serà el d'Edsger Dijkstra, qui el va descriure per primera vegada el 1959.

L'idea subjacent en aquest algoritme consisteix en anar explorant tots els camins més curts que parteixen del vèrtex origen i que porten a tots els altres vèrtexs, quan s'obté el camí més curt des del vèrtex origen, a la resta de vèrtexs que formen el graf, l'algoritme s'atura. L'algoritme és una especialització de la cerca de cost uniforme, i com a tal, no funciona en grafs amb arestes de cost negatiu (l'hora de triar sempre el node amb distància menor, poden quedar exclosos de la cerca nodes que en properes iteracions baixarien el cost general del camí al passar per una aresta amb cost negatiu).

Tenint un graf dirigit ponderat de  $N$  nodes no aïllats, sigui  $X$  el node inicial, un vector  $D$  de mida  $N$  contindrà al final de l'algoritme les distàncies des d' $X$  a la resta dels nodes.

Inicialitzar totes les distàncies en  $D$  amb un valor infinit (o màxim) ja que són desconegudes al principi, exceptuant la de  $X$  que s'ha de posar a 0 (ja que la distància de  $X$  a  $X$  és 0).

Sigui  $a = X$  ( $a$  serà el node actual).

Recorrem tots els nodes adjacents de  $a$ , excepte els nodes marcats com a visitats, que anomenarem  $v_i$ .

Si la distància des de  $X$  fins  $v_i$  guardada a  $D$  és més gran que la distància des de  $X$  fins  $a$  sumada a la distància des de  $a$  fins  $v_i$ , aquesta se substitueix amb la segona nomenada, és a dir:

si  $(D_i > D_a + d(a, v_i))$  llavors  $D_i = D_a + d(a, v_i)$

Marquem com a visitats el node  $a$ .

Prenem com a pròxim node actual el de menys valor en D (pot fer-se emmagatzemant els valors en una cua de prioritat) i tornem al pas 3 mentre existeixin nodes no visitats. Un cop acabat l'algoritme, D estarà completament ple.

L'ordre de complexitat de l'algoritme:  $O(|V|^2 + |E|) = O(|V|^2)$  sense utilitzar cua de prioritat,  $O((|L| + |V|) \log |V|)$  utilitzant cua de prioritat (per exemple un turó).

Podem estimar la complexitat computacional de l'algoritme de Dijkstra (en termes de sumes i comparacions). L'algoritme realitza al més  $n-1$  iteracions, ja que en cada iteració s'afegeix un vèrtex al conjunt distingit. Per estimar el nombre total d'operacions només cal estimar el nombre d'operacions que es duen a terme en cada iteració. Podem identificar el vèrtex amb la menor etiqueta entre els que no estan a  $S_k$  realitzant  $n-1$  comparacions o menys. Després fem una suma i una comparació per actualitzar l'etiqueta de cada un dels vèrtexs que no estan a  $S_k$ . Per tant, en cada iteració es fan com a molt  $2(n-1)$  operacions, ja que no pot haver més de  $n-1$  etiquetes per actualitzar a cada iteració. Com que no es realitzen més de  $n-1$  iteracions, cadascuna de les quals suposa al més  $2(n-1)$  operacions, arribem al següent teorema.

*TEOREMA: L'Algoritme de Dijkstra realitza  $O(n^2)$  operacions (sumes i comparacions) per determinar la longitud del camí més curt entre dos vèrtexs d'un graf ponderat simple, connex i no dirigit amb  $n$  vèrtexs.*

## Jerarquies de contracció

En la matemàtica aplicada, el mètode de **les jerarquies de contracció** és una tècnica per accelerar l'enrutament de la ruta més curta. Es pot considerar com un cas especial de " *highway-node routing* ".

Jerarquies de contracció es poden utilitzar per generar rutes més curtes, rutes molt més eficient que l'algoritme de Dijkstra o anteriors enfocaments d'enrutament carretera-node, i s'utilitza en moltes tècniques avançades d'enrutament. Està disponible públicament en programari de codi obert per a calcular rutes des d'un lloc a un altre.

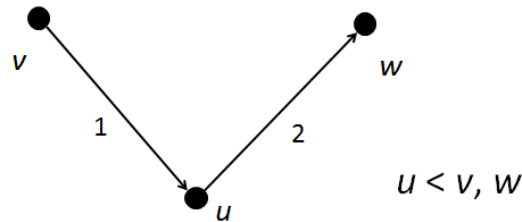
En general, els mapes escalables d'enrutament amb algoritmes tenen dues fases: pre-processament del gràfic original (que pot trigar més d'una hora per acabar) i consultes (menys d'un segon). La Jerarquia de contracció (CH) és un cas extrem d'enfocament "*hierarchy*", que genera una jerarquia de nodes de múltiples capes en l'etapa de pre-processament. En CH cada node en el gràfic es representa com el seu propi nivell de jerarquia. Això es pot aconseguir de moltes maneres, una manera senzilla és simplement per etiquetar cada node en l'ordre d'alguna enumeració d'1 a  $|N|$ . Els enfocaments més sofisticats podrien considerar el tipus de carretera (autopista front carretera secundària, etc.)

Una bona explicació de la jerarquia de la contracció es dona en les conferències de professor a la Universitat de Freiburg Bast.

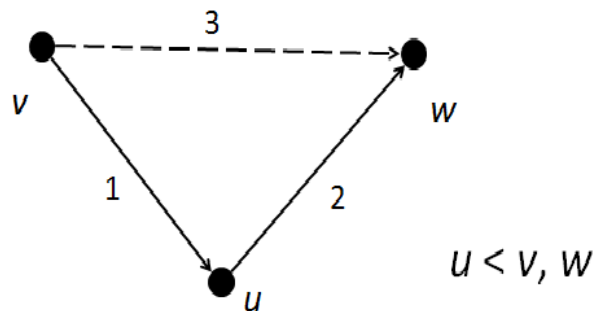
L'ordre dels nodes en CH pot ser arbitrària. El punt principal és que s'introdueixen els mètodes abreujats quan sigui necessari. Per saber quan és necessari un accés directe, un ha de entendre l'algoritme de cerca. L'algoritme de cerca (algoritme de Dijkstra bidireccional) en aquest cas està limitat de manera que només es contemplen les línies que estan connectats als nodes que són més alts en CH de node actual en una direcció, i viceversa. Amb aquesta restricció, l'algoritme no trobaria certs camins més curts a la xarxa sense processar, i per això hem d'introduir noves línies de la gràfica que representen els camins més curts existents que l'algoritme no té en consideració. No tots els camins més curts han de ser restaurats com a noves línies d'accés directe: és suficient per prendre en consideració els nodes adjacents d'alguns nodes que són més alts en CH (ja que la sub-ruta d'alguns camins més curts és en si una trajectòria més curta).

Per cada node, cal mantenir l'ordre, obtenir els seus nodes adjacents d'ordre superior i trobar si la ruta més curta entre cada parell passa pel node actual i si ho és, afegir línies d'accés directe.

Diguem que prenem en consideració només 2 nodes adjacents:



A partir d'aquesta imatge, si la ruta més curta des de  $V$  a  $W$  passa pel node  $o$  és menor en CH, un nou línia s'ha d'afegit el gràfic CH de manera que es conserven les rutes més curtes que l'algoritme de cerca té en consideració.



El pes de la nova línia és igual a la distància de la trajectòria de  $v$  a  $w$ . Quan es realitza el preprocessament de la gràfica original, tenim un gràfic CH, que consisteix en el gràfic original amb comandes node afegit i amb línies d'accés directe.

L'algoritme bidireccional de Dijkstra s'utilitza per la recerca. És algoritme clàssic de Dijkstra amb algunes modificacions. L'algoritme de recerca del node d'inici en una direcció i des del node que acaba en una altra direcció (aquest és l'algoritme de Dijkstra bidireccional clàssic), però contempla línies que es dirigeixen cap a majors nodes de jerarquia en una direcció (essencialment s'expandeix cap nodes de jerarquia superiors) i les línies que estan dirigides cap a nodes de jerarquia més baixos en l'altra direcció. Si existeix el camí més curt, les dues recerques es reuniran en algun node  $v$ . Un camí més curt de  $s$  a  $t$  consta de camins de  $s$  a  $v$  i de  $v$  a  $t$ .

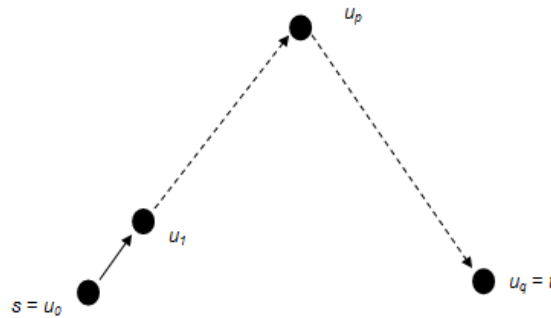
Els camins més curts que es troben per aquest algoritme tenen forma particular:

$$\langle s = u_0, u_1, \dots, u_p = v, \dots, u_q = t \rangle, p, q \in N$$

$$u_i < u_{i+1} \wedge a_i \in N, i < p$$

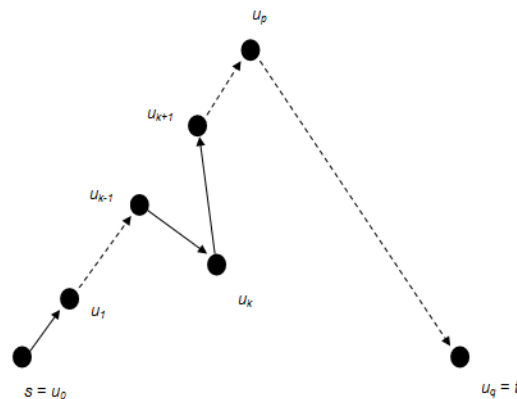
$$u_j > u_{j+1} \wedge a_j \in N, p \leq j < q$$





Un camí trobat per una consulta és el camí més curt a causa de l'etapa de pre-processament. En l'etapa de pre-processament transformem gràfic introduint línies d'accés directe, el que representa el camí més curt que l'algoritme no té en consideració. Per tal de tornar el resultat final, les línies d'accés directe han de ser amb post procesament per donar als camins reals que representen en el gràfic original.

Per tal de demostrar que aquest algoritme recupera camins més curts, considerem que és per contradicció: suposem (que buscar endavant, és el mateix que buscar enrere) que hi ha un camí que és més curt que el que ens trobem amb aquest algoritme:



Diguem que en algun moment hi ha una subruta que és més curta que la ruta . Com que l'algoritme s'expandeix cap als nodes que tenen major ordre, ordre de  $u_k$  node ha de ser inferior a fi de  $u_{k-1}$  i  $u_{k+1}$  nodes. A causa d'aquest fet, en l'etapa de preprocesament de la ruta es representaria com línia d'accés directe amb la mateixa longitud, i per tant no hi ha tal ruta més curta.